

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	Инженерная школа энергетики
Направление подготовки	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
АСУ ТП теплового пункта офисного здания

УДК 658.264-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Плешко Андрей Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Д.О.	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова	Антонова А.М.	к.т.н.		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы  
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок</i> , автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы</i> , автоматизированных систем управления и их компоненты.
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, их оборудования, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	Инженерная школа энергетики
Направление подготовки	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель профиля  
Озерова И.П.

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Плешко Андрею Олеговичу

Тема работы:

АСУ ТП теплового пункта офисного здания	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.05.2020 г. № 135-41/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2020 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p>	<p>Объектом автоматизации является тепловой пункт, находящийся по адресу ул. Марины Цветаевой 11, микрорайон Северный парк г. Томск. При разработке системы управления предусмотреть использование современных технических средств автоматизации для реализации функций автоматизированного контроля параметров и удаленного управления системой.</p>
--	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Научно-исследовательская работа. 2. Анализ объекта автоматизации. 3. Разработка схемотехнической документации. 4. Выбор оборудования. 5. Расчет параметров настройки регулятора. 6. Мнемосхема проекта. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
<b>Перечень графического материала</b>	1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема электрическая. 4. Схема монтажная. 5. Общий вид щита управления.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.2020 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Д.О.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Плешко Андрей Олегович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 19 рисунков, 31 таблицу, 65 источников.

Ключевые слова: автоматизированная система управления (АСУ), тепловой пункт, теплоноситель, горячее водоснабжение (ГВС), диспетчеризация.

Объектом автоматизации является тепловой пункт, находящийся по адресу ул. Марины Цветаевой 11, микрорайон Северный парк, г. Томск.

Цель работы – разработка системы диспетчеризации и дистанционного управления тепловым пунктом объекта, получающего тепловую энергию от котельной, функционирующей на перспективном гелеобразном топливе.

В процессе выполнения работы были выполнены экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление схмотехнической документации, выбор технических средств автоматизации, расчет оптимальных параметров настройки регулятора, разработка мнемосхемы проекта.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления тепловым пунктом на основе современных средств автоматизации с возможностью его дистанционного управления.

Преимуществом разработанной системы является возможность удаленного управления, реализованного на базе SCADA-системы. Оно позволяет повысить качество регулирования, быстродействие системы, а также снизить риски аварийных ситуаций в процессе эксплуатации системы.

## Оглавление

Введение.....	10
1 Научно-исследовательская работа .....	12
1.1 Приготовление гелеобразных топлив .....	13
1.2 Экспериментальная методика.....	15
1.3 Результаты экспериментальных исследований. Влияние интенсивности нагрева гелеобразного топлива на характеристики зажигания.....	20
2 Анализ объекта автоматизации .....	25
2.1 Описание теплового пункта.....	25
2.2 Индивидуальный тепловой пункт .....	26
3 Разработка АСУ ТП теплового пункта .....	32
3.1 Обоснование структуры АСУ.....	32
3.2 Разработка функциональной схемы АСУ .....	33
3.3 Выбор технических средств и составление заказной спецификации.....	35
3.3.1 Выбор оборудования АРМ оператора .....	38
3.3.2 Выбор датчика температуры наружного воздуха .....	39
3.3.3 Выбор датчиков температуры .....	41
3.3.4 Выбор датчиков давления .....	44
3.3.5 Выбор расходомеров .....	47
3.4 Разработка схемы электрической соединений.....	48
3.5 Разработка монтажной схемы.....	50
3.6 Разработка общего вида щитов .....	51
4 Расчет параметров настройки ПИ регулятора .....	52
4.1 Идентификация объекта управления .....	52
4.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора.....	55

4.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия .....	57
4.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения .....	61
5 Мнемосхема процесса.....	65
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	70
6.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения .....	70
6.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	71
6.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	72
6.4 Смета затрат на проектирование .....	76
6.4.1 Материальные затраты .....	76
6.4.2 Амортизация компьютерной техники .....	76
6.4.3 Затраты на заработную плату .....	77
6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	79
6.4.5 Накладные расходы .....	80
6.5 Смета затрат на оборудование.....	80
6.6 Формирование бюджета затрат .....	81
6.7 Выводы по разделу .....	82
7 Социальная ответственность .....	85
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	86
7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	86
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	87
7.2 Производственная безопасность .....	88
7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....	88

7.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте .....	89
7.2.2.1 Повышенный уровень вибрации .....	89
7.2.2.2 Повышенный уровень шума .....	90
7.2.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	92
7.2.2.4 Отклонение параметров микроклимата.....	93
7.2.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека .....	93
7.2.2.6 Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	94
7.3 Экологическая безопасность.....	95
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	96
7.5 Выводы по разделу .....	97
Заключение .....	98
Список использованных источников .....	99
ФЮРА.421000.011 СО1 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.011 ПЭ Перечень элементов щита автоматизации.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.111 ПЭ Перечень элементов щита управления .....	На отдельных листах
Графический материал: .....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.011 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.011 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.011 Э4 Схема электрическая соединений щита автоматизации	
ФЮРА.421000.111 Э4 Схема электрическая соединений щита управления	



ФЮРА.421000.011 С4 Схема монтажная

ФЮРА.421000.011 ВО Общий вид щита автоматизации

ФЮРА.421000.111 ВО Общий вид щита управления

## Введение

Роль автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на современных предприятиях увеличивается, поскольку современные технологии и оборудование все чаще внедряются в производственный процесс. В настоящее время системы управления технологическими процессами представляют собой мощный инструмент, направленный на совершенствование имеющихся технологий и операций. Так, оборудование функционирует по заданной программе в автоматизированном режиме, а оператор на мониторе наблюдает за происходящими процессами и отслеживает параметры. За счет того, что функции оперативного персонала сводятся к контролю и управлению технологическим объектом, уровень безопасности производства возрастает, уменьшаются трудовые затраты, исключаются ошибки, а также нештатные ситуации по вине рабочих. Особенно актуальным является внедрение систем диспетчеризации и дистанционного управления тепловыми пунктами, которые должны функционировать в непрерывном режиме. Такая система обладает высоким уровнем надежности и защиты от ошибочных действий персонала: тревожные сообщения, сигнализация, защитная блокировка на срабатывание исполнительных механизмов.

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы разрабатывается система диспетчеризации и дистанционного управления тепловым пунктом объекта, получающего тепловую энергию от котельной, функционирующей на перспективном газообразном топливе.

Данная система позволит обеспечить:

- реализацию оптимальных режимов теплоснабжения за счет ведения функций автоматического управления технологическим оборудованием и автоматического регулирования технологических параметров теплового пункта, в том числе за счет поддержания температурного графика теплоснабжения;

- предотвращение или снижение ущерба от аварий вследствие оперативного выявления мест возникновения и характера аварий и, следовательно, сокращение времени на их локализацию, ликвидацию и устранение неблагоприятных последствий;

- отображение на экранах диспетчерского пункта достоверной и своевременной технологической информации для ведения оперативного контроля и управления оборудованием, а также вывод ретроспективной технологической информации для возможности оптимизации, анализа и планирования работ по эксплуатации оборудования теплового пункта и его ремонтов;

- снижение непроизводственных расходов из-за «недоучета» и сверхнормативного потребления энергетических ресурсов за счет их автоматизированного коммерческого/технического учета;

- снижение производственных издержек.

## 1 Научно-исследовательская работа

В последнее время во всем мире одной из актуальных задач промышленной теплоэнергетики является вовлечение низкосортных энергоресурсов (бурых углей, торфа, биомассы) в цикл производства тепловой энергии и электричества [1–4]. Это связано, с одной стороны, с увеличением энергопотребления мировой экономикой [5], с другой стороны, с большими запасами низкосортных энергоресурсов, их доступностью и относительно невысокой стоимостью [6, 7]. Применение таких топлив в исходном состоянии на практике вместо широко распространенных углей энергетических марок невозможно в рамках существующих технологий сжигания твердого топлива. Это объясняется группой причин, основными из которых являются относительно высокие значения влажности и зольности низкосортных энергоресурсов и, как результат, низкая теплота сгорания [8].

На начальном этапе вовлечения низкосортных твердых топлив в теплоэнергетику перспективным направлением является разработка композиционных составов на их основе с добавлением (при необходимости) в небольшом количестве твердых или жидких компонентов для повышения энергетических [9, 10] и экологических [11, 12] характеристик. Применение топливных брикетов, пеллет и гранул характеризуется снижением пожарной опасности топлива, затрат на его транспортировку и хранение.

Таким образом, предполагается вместо мазута/газа использовать гелеобразное топливо в котельной для выработки тепла и нагрева сетевой воды, поступающей в тепловой пункт офисного здания. Результаты выполненного исследования опубликованы в международном высокорейтинговом журнале (Q1 по Web of Science) International Journal of Heat and Mass Transfer [13].

## 1.1 Приготовление гелеобразных топлив

Топливные составы, использованные при проведении экспериментов в данной работе, условно можно разделить на два типа: маслonaполненные криогели без добавления каких-либо твердых компонентов (см. таблицу 1.1, составы N 1, N 2 и N 3); маслonaполненные криогели, содержащие мелкодисперсные частицы угля (см. таблицу 1.1, состав N 4).

Таблица 1.1 – Составы гелеобразных топлив

Номер состава	Концентрации компонентов, % об.				
	Водный раствор ПВС (5 % масс.)	Водный раствор ПВС (10 % масс.)	Масло И-40А	ПАВ	Угольная пыль
1	58	–	40	2	–
2	48	–	50	2	–
3	38	–	60	2	–
4	–	33	35	2	30

Основные характеристики компонентов гелеобразных топлив представлены в [13].

Процесс приготовления топлива и подготовки образцов к проведению экспериментов по зажиганию состоял из четырех основных этапов [14]. На первом этапе готовился водный раствор поливинилового спирта (ПВС), который обеспечивает гелеобразную структуру топлива за счет формирования полимерной матрицы после цикла замораживания/оттаивания. Порошок ПВС растворяли в воде с помощью лопастной мешалки ES-8300 D (Экрос, Россия) при 500 оборотах в минуту. Для интенсификации процесса растворения ПВС воду нагревали до температуры 80 °С. Второй этап для разных топливных составов отличался способами приготовления суспензий и эмульсий. Для маслonaполненных криогелей (составы N 1, N 2, N 3) готовили м/в эмульсии масла в растворе ПВС. Для повышения стабильности

эмульсий применяли эмульгатор (ПАВ) Tween<sup>®</sup> 80 при концентрации 2 % об. После растворения в водном растворе ПВС эмульгатора получали эмульсии путем механического диспергирования масла в водной среде с помощью мешалки GJ-3S (Qingdao ChuangMeng Instrument Co., Ltd., Китай) при частоте вращения вала 11000 оборотов в минуту [14]. В подготовленный раствор ПВС с эмульгатором небольшими порциями вводили масло. После эмульгирования последней порции масла перемешивание продолжали в течение 600 с. При приготовлении состава N 4 сначала получали эмульсию масла в водном растворе ПВС, в которую вводили мелкодисперсные частицы угля (порциями с массой каждой от 50 до 75 г) в условиях постоянного перемешивания лопастной мешалкой при 3000 оборотах в минуту). Длительность перемешивания после добавления каждой порции составляла не менее 900 с. На третьем этапе приготовленные суспензии и эмульсии разливали в металлические цилиндрические формочки (диаметр 0,03 м, высота 0,01 м). Непосредственное формирование гелеобразной структуры топлива происходило при реализации последовательных процессов замораживания суспензий и эмульсий при температуре минус 15 °С в течение двенадцати часов и оттаивания образцов в течение двенадцати часов при температуре 20 °С. Общее число циклов замораживания / оттаивания пеллет гелеобразных топлив составляло пятнадцать. Внешний вид типичных пеллет гелеобразного топлива на основе маслonaполненных криогелей приведен на рисунке 1.1. На четвертом этапе топливные пеллеты при температуре 20 °С нарезались на образцы, которые непосредственно использовались для экспериментального исследования зажигания.

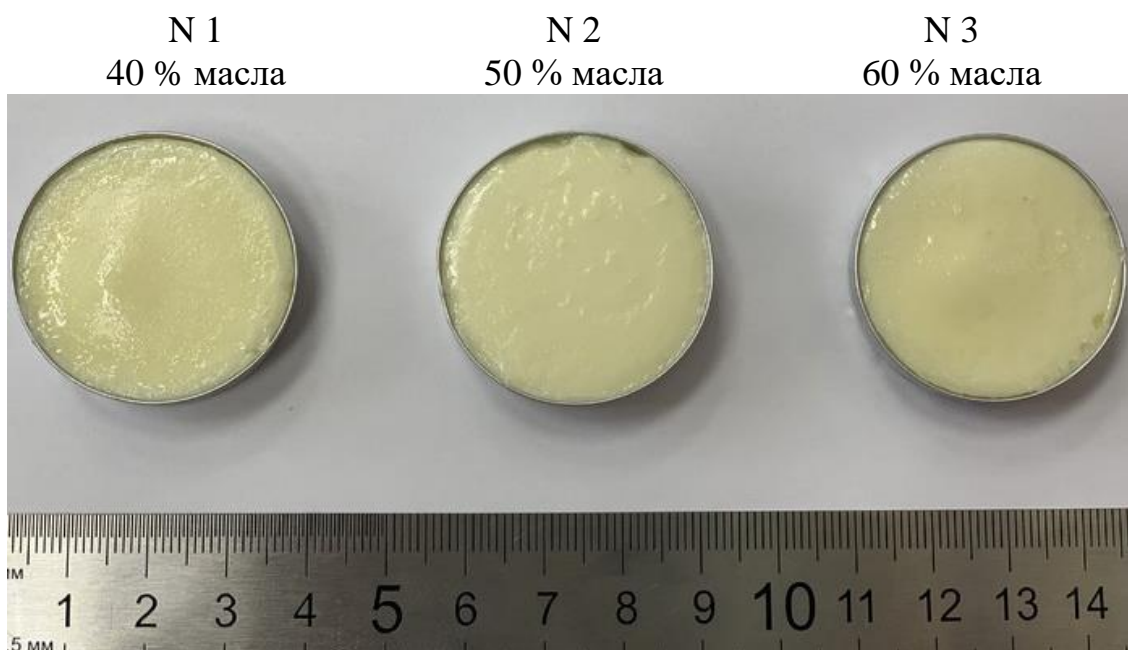


Рисунок 1.1 – Внешний вид типичных пеллет гелеобразных топлив (составы N 1, N 2, N 3)

## 1.2 Экспериментальная методика

Исследование закономерностей и характеристик зажигания гелеобразных топлив выполнено с использованием экспериментального стенда (рисунок 1.2). Основными компонентами стенда являются трубчатая муфельная печь 1, высокоскоростная видеокамера 2 и ноутбук 3 со специализированным программным обеспечением.

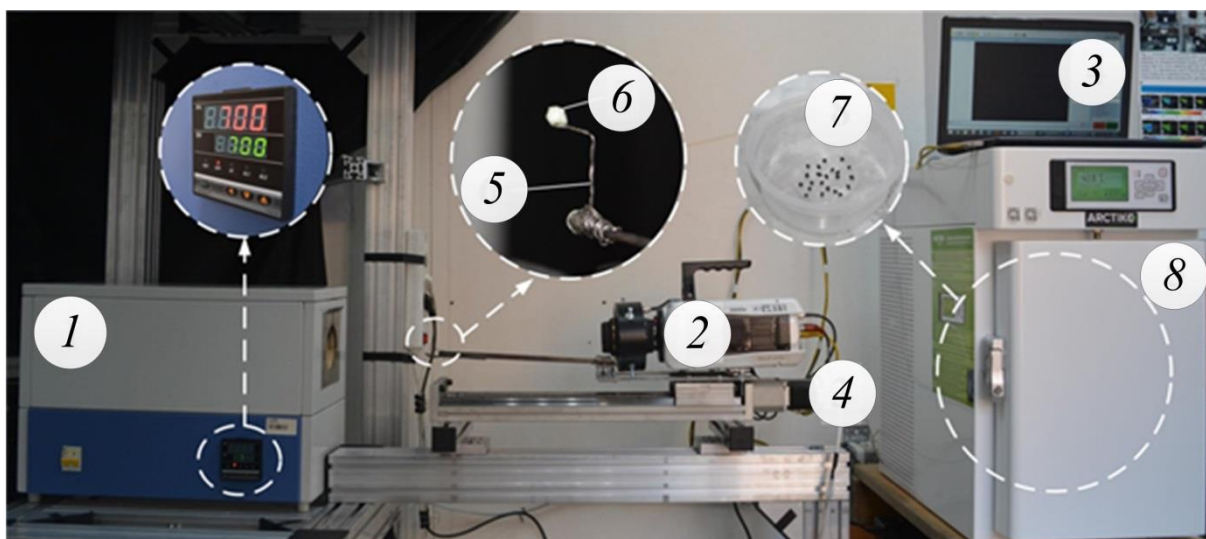


Рисунок 1.2 – Внешний вид экспериментального стенда: 1 – трубчатая муфельная печь, 2 – высокоскоростная видеокамера, 3 – ноутбук, 4 – координатный механизм, 5 – держатель, 6 – образец топлива, 7 – образец топлива в морозильной камере, 8 – морозильная камера

Зажигание частиц топлива происходило в высокотемпературной неподвижной воздушной среде, которая генерировалась в объеме полости керамической трубки (внутренний диаметр 0,05 м, длина 0,45 м) муфельной печи Loip1f50/500-1200 (ЗАО «Лабораторное оборудование и приборы», Россия) [15, 16, 17]. Диапазон варьирования температуры воздуха в печи составлял от 700 до 1000 °С. Температура контролировалась встроенной термопарой type S. В каждой серии из пяти экспериментов, проводимых при идентичных начальных условиях, печь прогревалась до заданной температуры. После ее стабилизации образец топлива 6, расположенный на держателе (или спаяе диаметром 80 мкм малоинерционной термопары type K) 5, вводился в полость керамической трубки печи с помощью координатного механизма 4 – СПШ20-23017/2000Z (ЗАО «Завод мехатронных изделий», Россия). Процессы, протекающие в течение индукционного периода, регистрировались цветной высокоскоростной видеокамерой 2 – Phantom v411 (Vision Research, США). Видеокамера имеет следующие характеристики: не менее 3600 кадров в секунду при максимальном разрешении



1280×800 пикселей; глубина 12 бит; размер пикселя 20 мкм; минимальное время экспозиции 1 мкс; 16 Гб памяти; автоматический триггер по изображению. Анализ видеозаписей выполнялся при помощи ПО Tema Automotive (Image Systems AB, Швеция).

Программно-аппаратный комплекс высокоскоростной видеорегистрации позволял проводить детальный анализ взаимосвязанных физико-химических процессов, протекающих в течение индукционного периода, рассчитывать время задержки зажигания ( $t_d$ ). Значение  $t_d$  определялось как разница между двумя событиями. Первое соответствовало вводу частицы топлива в муфельную печь ( $t=0$ ), когда начинался его прогрев. Второе соответствовало зажиганию топлива ( $t=t_d$ ). Наступление этого события контролировалось по моменту достижения контролируемой интенсивности свечения в области видеорегистрации [18]. Предварительно исходные цветные видеозаписи конвертировались в черно-белую цветовую гамму. Алгоритм обработки видеозаписей (ПО Tema Automotive) покадрово контролировал значения оттенков серого (от 0 до 255 – от черного до белого цвета, соответственно) в каждой точке (пикселе) области видеорегистрации. В этой цветовой гамме интервал интенсивности свечения от 220 до 255 соответствовал процессу горения топлива (свечение в окрестности капли топлива вследствие интенсивного экзотермического реагирования). Момент зажигания регистрировался автоматически по достижению (или превышению) значения интенсивности свечения 220 (в оттенках серого) в какой-либо точке в контролируемой окрестности капли. После определения момента зажигания алгоритм обработки видеозаписей контролировал устойчивость этого процесса по нарастанию среднего значения интенсивности свечения в области видеорегистрации. Систематическая погрешность определения времен  $t_d$  не превышала 0,5 %. Случайные погрешности для серий из пяти экспериментов, выполненных при идентичных начальных условиях, составляли не более 10 % в диапазоне варьирования температур в печи от 700 до 1000 °С.

При проведении экспериментов торцевые отверстия трубки муфельной печи 1 были открыты. Нагревательный элемент (длина 0,25 м) и встроенная термопара, контролирующая температуру в печи, расположены в средней части трубки. Поэтому после стабилизации температуры в печи вдоль трубки (от торцевого отверстия до средней части) устанавливалось неравномерное распределение температуры (перепад от 20 °С до значения  $T_g$ ). Поэтому при вводе частицы топлива в печь и по мере ее продвижения до середины печи интенсивность нагрева изменялась. Такие условия на практике соответствуют условиям ввода топлива в камеру сгорания. Распределения температур вдоль трубки муфельной печи (от входного отверстия до средней части) от 700 до 1000 °С с шагом 100 °С установлены по значениям, измеренным в пяти характерных точках с помощью цифрового измерителя температуры IT-8-K/K (NPK «Relsib», Россия) и датчика Testo 0602 0593 (Testo, Германия). Характеристики последнего: тип К; класс точности 1; диапазон измерения от минус 60 до 1000 °С; быстродействие 2 с; длина чувствительного элемента 0,3 м. Полученные результаты приведены на рисунке 1.3.

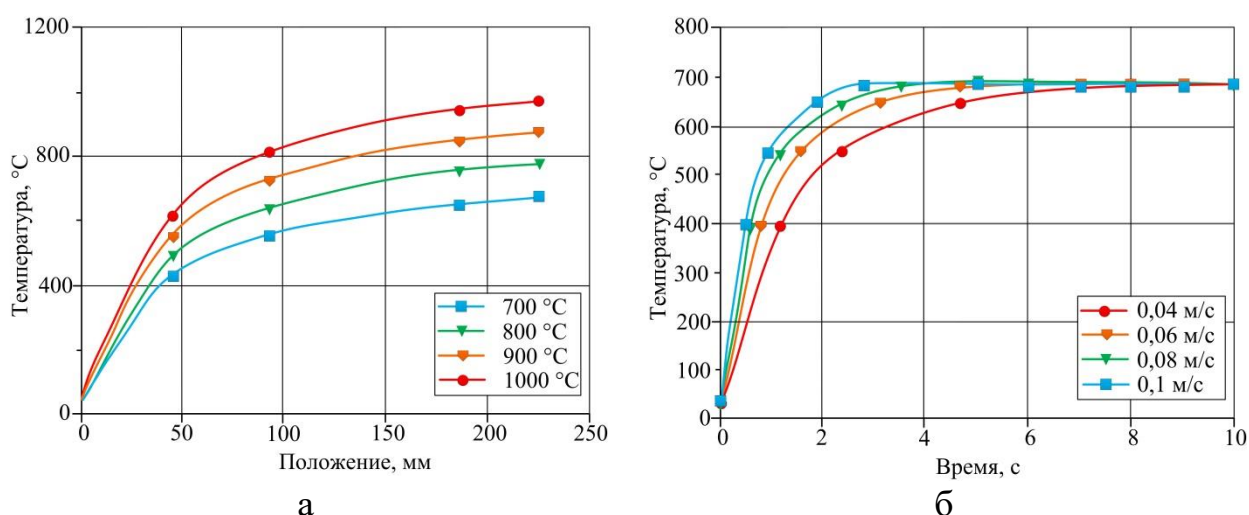


Рисунок 1.3 – Распределения температур в характерных точках муфельной печи по длине трубки от входного отверстия до ее средней части при разных заданных значениях  $T_g$  (а) и изменения температур нагрева частиц топлива в процессе ввода в муфельную печь с разными скоростями при  $T_g=700$  °С

На рисунке 1.36 для условий  $T_g=700\text{ }^{\circ}\text{C}$  приведены изменения температур нагрева частиц топлива в процессе ввода в муфельную печь при четырех скоростях: 0,04, 0,06, 0,08, 0,10 м/с. Аналогичные результаты получены при других значениях температур в печи (800, 900, 1000  $^{\circ}\text{C}$ ), при которых проводились исследования зажигания топлив. В соответствии с результатами, приведенными на рисунке 1.36, можно сделать вывод, что при разных скоростях ввода частиц топлив в высокотемпературную среду окислителя даже при идентичных значениях температуры ( $T_g=\text{const}$ ) в муфельной печи, интенсивность нагрева топлива будет отличаться. Этот фактор будет являться причиной отличия  $t_d$  для частиц гелеобразных топлив при прочих идентичных условиях протекания исследуемого процесса.

Также при проведении серии экспериментов регистрировались температуры капель гелеобразных топлив в течение индукционного периода. В этом случае в качестве держателя образца топлива использовался спай малоинерционной термопары: тип К; класс точности 1; диапазон измерения от минус 60 до 1200  $^{\circ}\text{C}$ ; быстродействие 0,1 с; диаметр чувствительного элемента 80 мкм. Показания термопары регистрировались с шагом по времени 0,1 с посредством универсального алюминиевого модуля NI-9219 (National Instruments, США), подключенного к ПК с ПО LabVIEW (National Instruments, США). Случайные погрешности для серий экспериментов, выполненных при идентичных начальных условиях, составляли от 10 до 15 %. Наибольшие значения погрешности соответствовали условиям проведения экспериментов при температуре в печи  $T_g=700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда рассеяние экспериментальных данных было максимально ( $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  относительно среднего значения) при близких к предельным условиям зажигания гелеобразного топлива. В этом случае число повторений составляло не менее десяти. При температуре в печи от 800 до 1000  $^{\circ}\text{C}$  рассеяние экспериментальных данных не превышало  $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  относительно среднего значения. В этом случае число повторений не превышало 5.

### 1.3 Результаты экспериментальных исследований. Влияние интенсивности нагрева гелеобразного топлива на характеристики зажигания

На рисунке 1.4 представлены типичные кадры видеороликов зажигания гелеобразных топлив при температуре  $T_g=900$  °С. Скорости ввода топливных частиц в муфельную печь составляли 0,08 м/с. Исследования выполнены для частиц (капель в расплавленном состоянии) в форме сферы диаметрами: 2,5, 2,8, 3,1 мм. Для состава N 3 (без добавления частиц угля) масса частиц составляла 7, 10, 13 мг (плотность топлива 870 кг/м<sup>3</sup>).

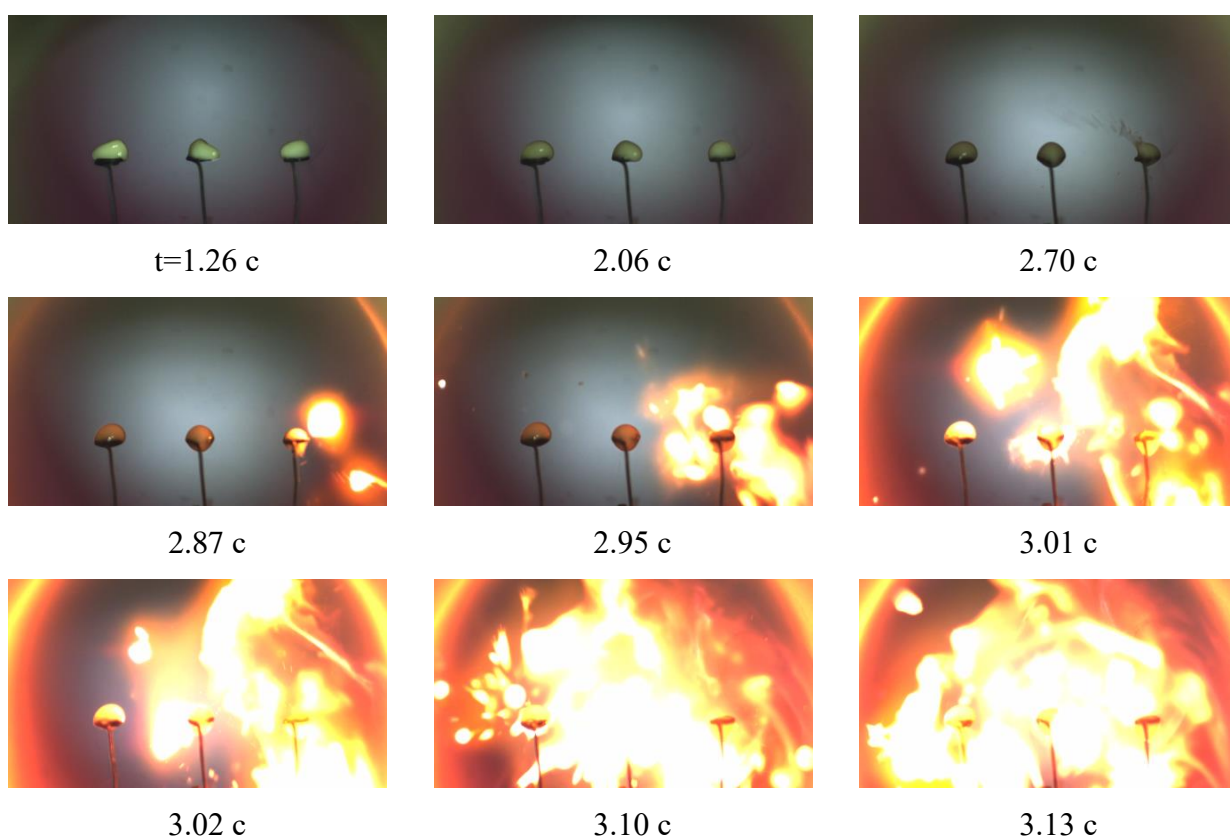


Рисунок 1.4 – Кадры видеороликов зажигания частиц (в начальный момент времени или капель после плавления) гелеобразного топлива (состав N 3) разных размеров (3,1, 2,8, 2,5 мм слева направо) при  $T_g=900$  °С.

На рисунке 1.5 приведены времена задержки зажигания исследовавшейся в данной работе группы составов гелеобразного топлива при разных скоростях (от 0,04 до 0,10 м/с) ввода частиц массой 10 мг (диаметр капле расплава в форме сферы 2,8 мм) в высокотемпературную воздушную среду. Чем выше скорость ввода топлива в муфельную печь с неравномерным распределением температуры (рисунок 1.3б), тем меньше времена задержки зажигания при прочих идентичных условиях (рисунок 1.5).

Полученный результат объясняется более высокой интенсивностью нагрева топлива, т.к. область с максимальной температурой в печи достигается при вводе образца за меньший промежуток времени (рисунок 1.3б). Эти временные промежутки, например, при перемещении частиц топлива со скоростями 0,04 и 0,10 м/с отличаются в 2,5 раза. Поэтому в условиях нестационарного распределения температуры воздуха в области ввода в камеру сгорания топливных образцов скорость перемещения последних оказывает достаточно существенное влияние на основную характеристику процесса – время задержки зажигания, которое характеризует не только конструктивные параметры камеры сгорания, но и полноту выгорания топлива.

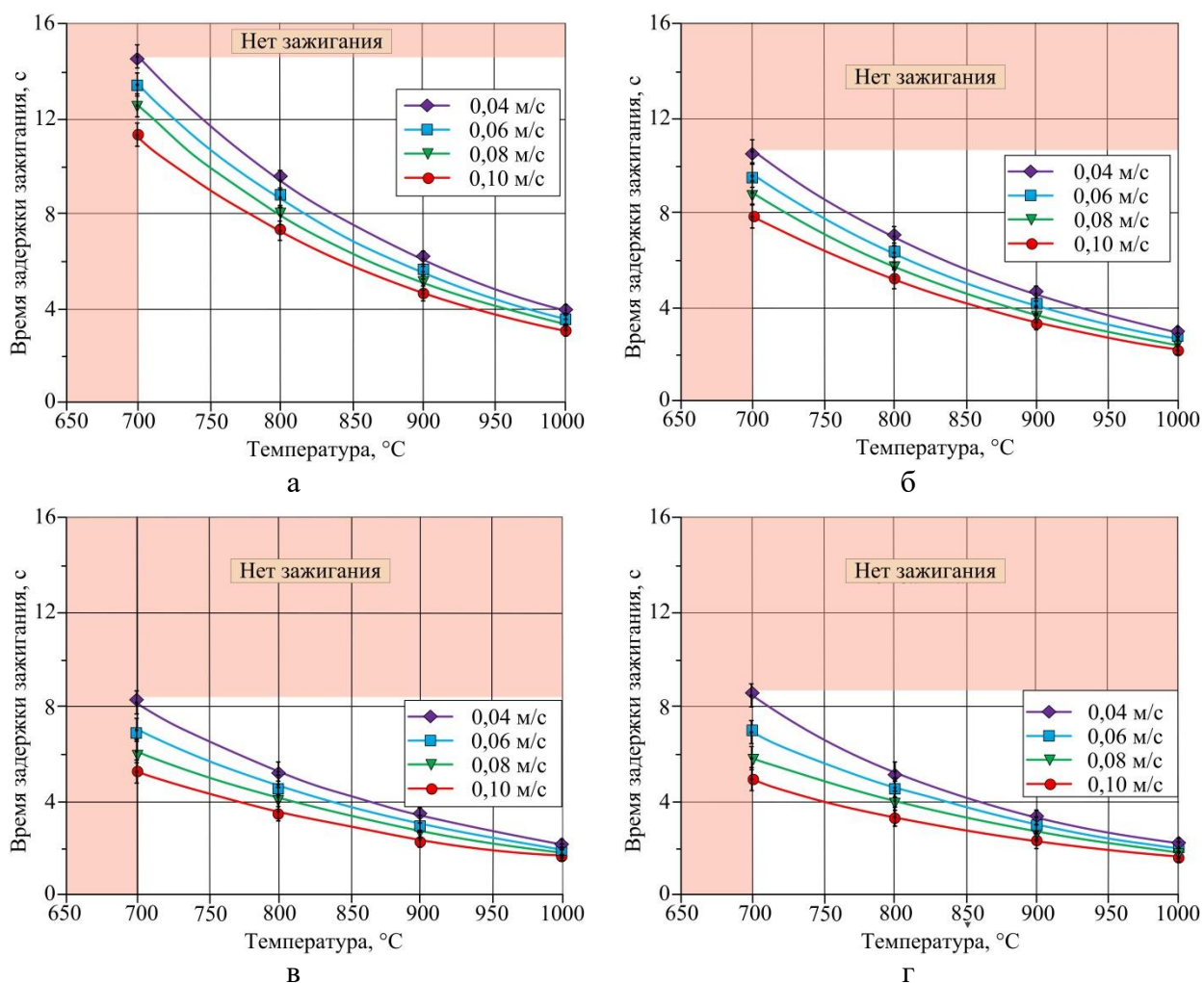


Рисунок 1.5 – Времена задержки зажигания гелеобразных топлив при разных скоростях ввода частиц размером 2,8 мм в высокотемпературную среду окислителя: а – состав N 1; б – состав N 2; в – состав N 3; г – состав N 4

Для детального анализа влияния фактора скорости ввода гелеобразного топлива в камеру сгорания на характеристики его зажигания выполнена оценка плотностей тепловых потоков в соответствии со статьей [13] на основании данных термопарных измерений, полученных с использованием малоинерционной термопары.

На рисунке 1.6 по аналогии с [19, 20] представлена область устойчивого зажигания рассмотренных в данной работе составов гелеобразного топлива в координатах «амплитуда теплового потока – время задержки зажигания» в условиях лучисто-конвективного нагрева при разных скоростях ввода частиц (капель расплава) в высокотемпературную среду

окислителя. Границы области соответствуют предельными значениями характеристик (температура источника нагрева, скорость движения образца топлива), при которых в рассматриваемой системе происходит зажигание топлива. Установлен предельный тепловой поток  $40 \text{ кВт/м}^2$ , ниже которого зажигание не реализуется при любой сколь угодно длительной стадии прогрева топлива. Также установлено, что при относительно высоких значениях теплового потока (более  $100 \text{ кВт/м}^2$ ) изменение параметров рассматриваемой системы оказывает незначительное влияние на время задержки зажигания. В случае, если  $q$  больше или равно  $60 \text{ кВт/м}^2$  область устойчивого зажигания становится значительно уже (интенсивность физико-химических процессов в течение индукционного периода достаточно высока, в таких условиях снижается влияние основных значимых факторов на времена задержки зажигания), что качественно хорошо соответствует результатам [19, 20], полученным, например, при воспламенении конденсированного состава Н треугольным световым импульсом с линейно убывающей амплитудой, а также при зажигании смесового твердого топлива локальным источником ограниченного теплосодержания. При сравнении характеристик процессов инициирования горения [19, 20] также установлено, что предельное минимальное значение теплового потока, при котором происходит устойчивое зажигание гелеобразного топлива составляет  $40 \text{ кВт/м}^2$  (рисунок 1.6), что соответствует  $q$  при зажигании смесового топлива на основе перхлората аммония и бутилкаучука при кондуктивном нагреве металлической частицей [20] и на порядок меньше аналогичной характеристики при зажигании баллиститного состава световым импульсом [19]. Полученный результат можно объяснить не только существенным отличием условий нагрева топлив разными источниками, но и значительным отличием теплофизических и кинетических характеристик конденсированных веществ [19, 20] и гелеобразного топлива.

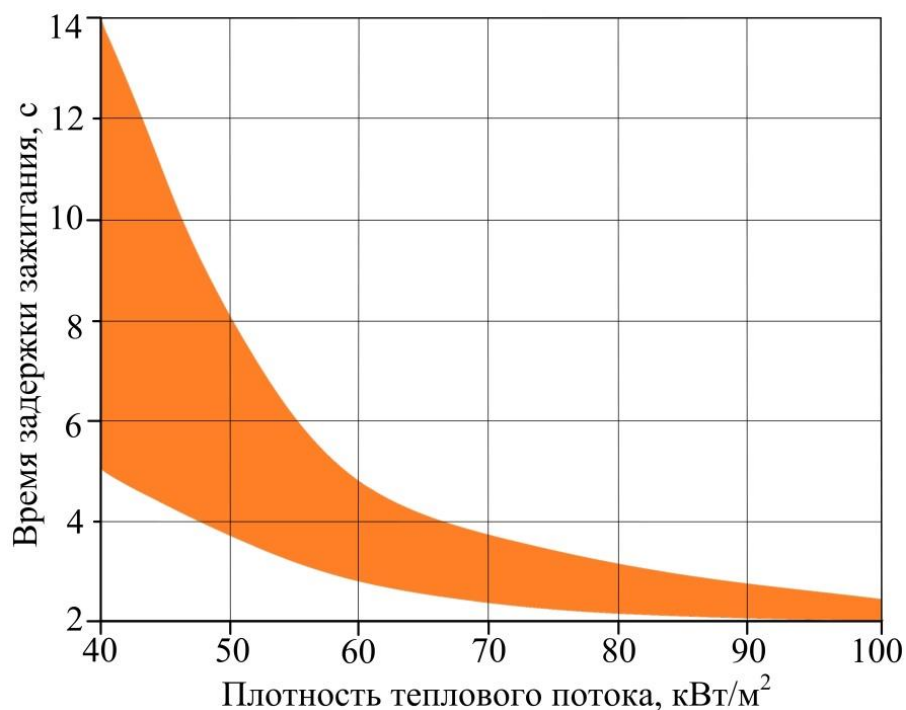


Рисунок 1.6 – Область (выделена цветом) зажигания гелеобразного топлива в условиях лучисто-конвективного нагрева при разных скоростях ввода частиц топлива в высокотемпературную воздушную среду

Стоит отметить, что при варьировании параметров рассматриваемой системы в достаточно широких диапазонах среднее соотношение лучистой и конвективной составляющих плотностей тепловых потоков при прогреве образца гелеобразного топлива составляет 2:1. При близких к предельным условиям зажигания это соотношение несколько ниже из-за меньшего влияния лучистой составляющей теплового потока в области относительно низких температур нагрева. При относительно высоких  $T_g$  отличие лучистой и конвективной составляющих более существенно и несколько превышает указанное выше соотношение.



## 2 Анализ объекта автоматизации

### 2.1 Описание теплового пункта

Тепловой пункт это сложная установка для передачи тепловой энергии от наружных теплосетей (котельных, РТС или ТЭЦ) во внутреннюю систему водоснабжения, отопления и вентиляции.

Тепловые пункты необходимы практически во всех сферах: в административных и жилых зданиях – для горячего водоснабжения и вентиляции, и самым востребованным является тепловой пункт системы отопления, на промышленных предприятиях – для соблюдения и обеспечения необходимых норм в технологическом процессе.

Тепловые пункты различаются по типу и количеству подключений, по способам размещения (непосредственно в здании или отдельно), и таким образом делятся на несколько типов:

- центральный тепловой пункт (ЦТП) это тепловой пункт обслуживающий группу зданий, например, поселок городского типа, микрорайон, промышленное предприятие и т.д.;

- индивидуальный тепловой пункт (ИТП) представляет собой устанавливаемый в подвале здания и работающий автоматически комплекс насосов, теплообменников и датчиков, регулирующий подачу ресурса в системы отопления и горячего водоснабжения дома в соответствии с заданной программой и температурой наружного воздуха;

- модульный (или блочный) тепловой пункт (БТП) – созданная на одной раме конструкция, может применяться для ИТП или ЦТП. Модульный тепловой пункт является полностью законченным и спроектированным на заводе тепловым пунктом. Он не требует доработок, и позволяет в максимально сжатые сроки подключить здания к горячему водоснабжению.

В тепловом пункте имеются следующие системы снабжения потребителей тепловой энергией:

– система горячего водоснабжения (ГВС) предназначена для снабжения потребителей горячей водой. Различают открытые и закрытые системы ГВС. Часто тепло из системы ГВС используется потребителями для частичного отопления некоторых помещений, таких как ванные комнаты в многоквартирных жилых домах;

– система отопления предназначена для обогрева помещений с целью поддержания в них заданной температуры воздуха. Различают независимые и зависимые схемы присоединения систем отопления;

– система вентиляции предназначена для подогрева наружного воздуха, поступающего в вентиляционные системы зданий. Также может использоваться для присоединения зависимых систем отопления потребителей;

– система холодного водоснабжения не относится к системам, которые потребляют тепловую энергию, но присутствует во всех тепловых пунктах, обслуживающих многоэтажные дома. Она предназначена для обеспечения необходимого давления в системах водоснабжения потребителей.

В данной работе будет рассмотрен индивидуальный тепловой пункт, который находится на улице Марины Цветаевой 11 в микрорайоне Северный парк г. Томска. Данное здание представляет собой четырехэтажную постройку, с общей площадью 15559,4 м<sup>2</sup>. Для его отопления и снабжения водой в подземном этаже предусмотрено два теплоузла. Так как данные узлы идентичны, рассмотрим только один из них.

## 2.2 Индивидуальный тепловой пункт

Индивидуальный тепловой пункт – это устройство, предназначенное для транспортировки тепловой энергии от тепловой сети (ТЭЦ, ЦТП, котельной) к внутридомовым системам: отопление, горячее водоснабжение,

вентиляция. Располагается, как правило, в подвальном или техническом помещении дома.

В задачи индивидуального теплового пункта входит преобразование теплоносителя и регулирование численных значений его параметров, рациональное распределение теплоносителя, защита систем потребления тепловой энергии от опасного превышения параметров (давления, температуры) теплоносителя, учет расхода теплоносителя и тепла.

Ключевыми компонентами ИТП являются:

- теплообменники (осуществляют передачу тепла). В рассматриваемом тепловом пункте горячее водоснабжение подключено через специальный теплообменник, который позволяет разделять теплоноситель из теплотрассы от теплоносителя внутри дома. Такая система позволяет производить его подготовку при помощи фильтрации. Благодаря такой схеме появляются большие возможности в регулировании давления и температуры теплоносителя внутри дома, что позволяет снизить затраты на водоснабжение. Отопление дома производится непосредственно от теплосети;

- запорная и регулирующая арматура – это совокупность устройств, относящихся к трубопроводной арматуре и отвечающих за перекрытие теплоносителя. Запорная арматура должна использоваться на всех подающих и обратных трубопроводах теплосетей на вводе и выводе их из тепловых пунктов, на нагнетательном и всасывающем патрубках каждого насоса внутри теплового пункта, на подводящих и отводящих трубопроводах водоподогревателей. Арматура тепловых пунктов может быть оснащена электроприводом, гидро- или пневмоприводом;

- циркуляционные насосы – одна из главных составляющих системы отопления и горячего водоснабжения. Они предназначены для реализации возможности принудительного движения жидкости по замкнутому контуру и рециркуляции. В тепловом узле используются четыре циркуляционных насоса: два в системе ГВС и два в системе отопления;

– контрольно-измерительные приборы. В индивидуальных тепловых пунктах систем теплоснабжения устанавливаются приборы для измерения: давления, температуры, расхода. В рассматриваемом тепловом узле температура теплоносителя измеряется на входе в тепловой пункт, на выходе из теплового пункта, перед системой отопления, после возврата из системы отопления, а также перед подачей в систему ГВС. Расход и давление теплоносителя отслеживаются на входе в тепловой пункт и на выходе из него;

– контроллер – это выполненное на основе микропроцессора устройство, служащее для управления различными системами автоматизации. Контроллеры собирают и обрабатывают по заданной пользователем программе данные с датчиков, после чего отправляют на исполнительные устройства управляющие сигналы. Так же они контактируют с рабочими местами операторов. В случае надобности, контроллеры можно объединить в единую сеть с необходимым числом узлов;

– щиты электроуправления.

Щит учета теплового пункта (ЩУ-ТП) объединяет в себе тепловычислитель и интернет-коммуникатор. ЩУ-ТП предназначен:

– для учета тепловой энергии и теплоносителя в системах отопления, ГВС;

– для учета электроэнергии для систем любой мощности.

Щит автоматизации теплового пункта (ЩА-ТП) содержит программируемый логический контроллер. ЩА-ТП предназначен для автоматического управления работой теплового узла и регулирования процессов теплоснабжения в системах отопления и ГВС:

– поддержание заданной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе;

– поддержание заданной температуры теплоносителя в обратном трубопроводе в соответствии с температурным графиком теплоснабжения;

– поддержание температуры горячей воды в системе ГВС;

- защита насосных групп от «сухого хода», перегрева;
- защита оборудования от короткого замыкания;
- возможны дополнительные функции и диспетчеризация.

Разработка проекта теплового узла проведена в соответствии со следующими документами: СНиП 2.04.07-86 [21], СНиП 41-101-95 [22], СНиП 2.04.05-91 [23].

Теплоснабжение и водоснабжение осуществляется от наружной теплосети с параметрами теплоносителя:

- температура теплоносителя в подающем трубопроводе 105 °С;
- температура теплоносителя в обратном трубопроводе 70 °С;
- температура теплоносителя в системе ГВС 70 °С.

Характеристики системы:

- отопление: непосредственно от теплосети;
- горячее водоснабжение: независимая схема, циркуляция теплоносителя через теплообменник;
- система вентиляции: отсутствует.

Система теплоснабжения офисного здания двухтрубная. На входе в индивидуальный тепловой пункт должен соблюдаться температурный график 105/70 °С от котельной. Отопительный температурный график котельной представлен на рисунке 2.1.

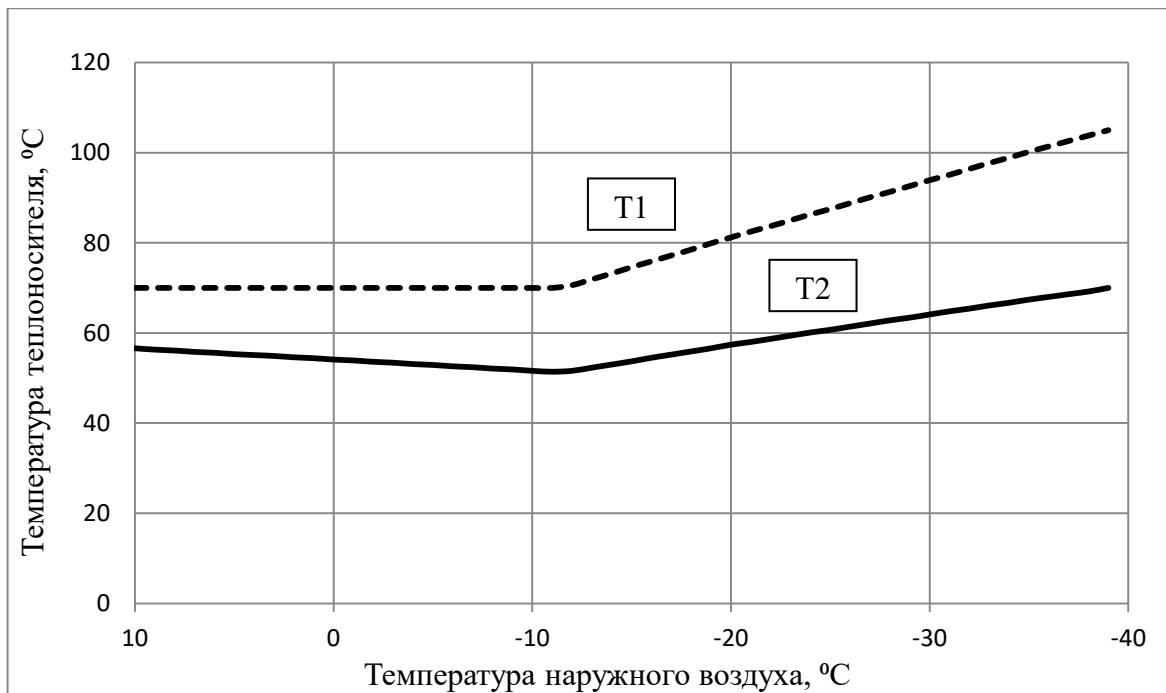


Рисунок 2.1 – Отопительный температурный график котельной: T1 – прямая сетевая вода, T2 – обратная сетевая вода

Отопительный температурный график для системы теплоснабжения здания представлен на рисунке 2.2.

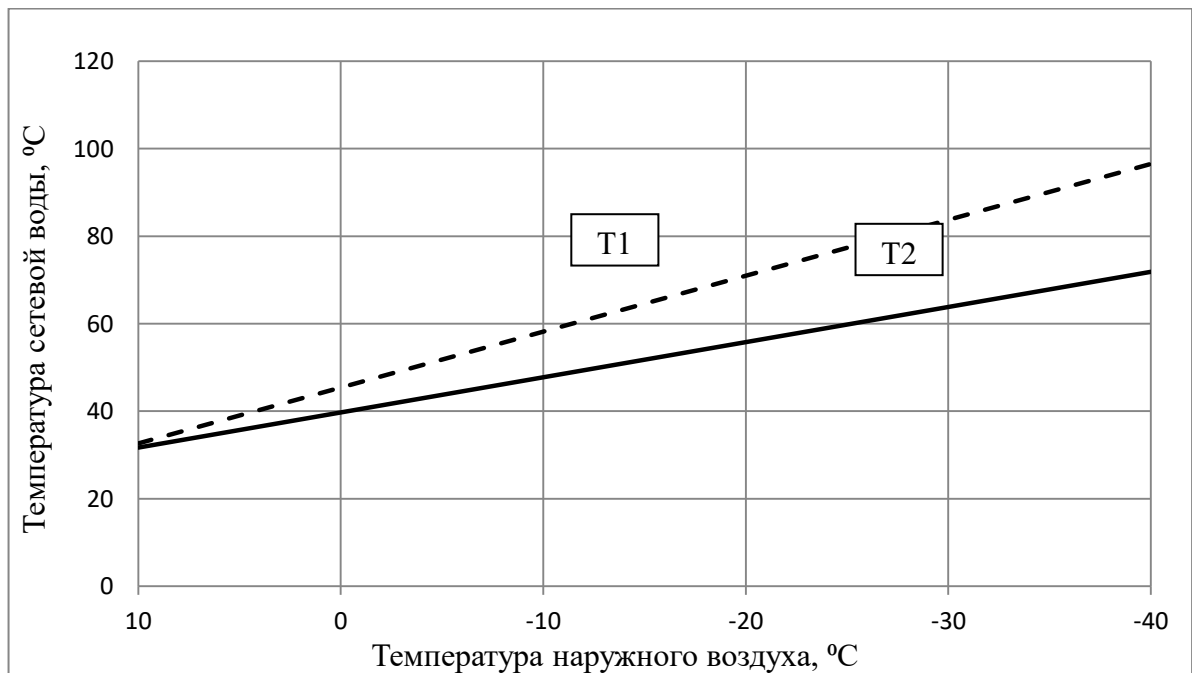


Рисунок 2.2 – Отопительный температурный график для системы теплоснабжения здания: T1 – прямая сетевая вода, T2 – обратная сетевая вода

Структурная схема АСУ теплового узла определяет основные функциональные части, их назначение и взаимосвязи между ними. На рисунке 2.3 представлена структурная схема рассматриваемого теплового узла.

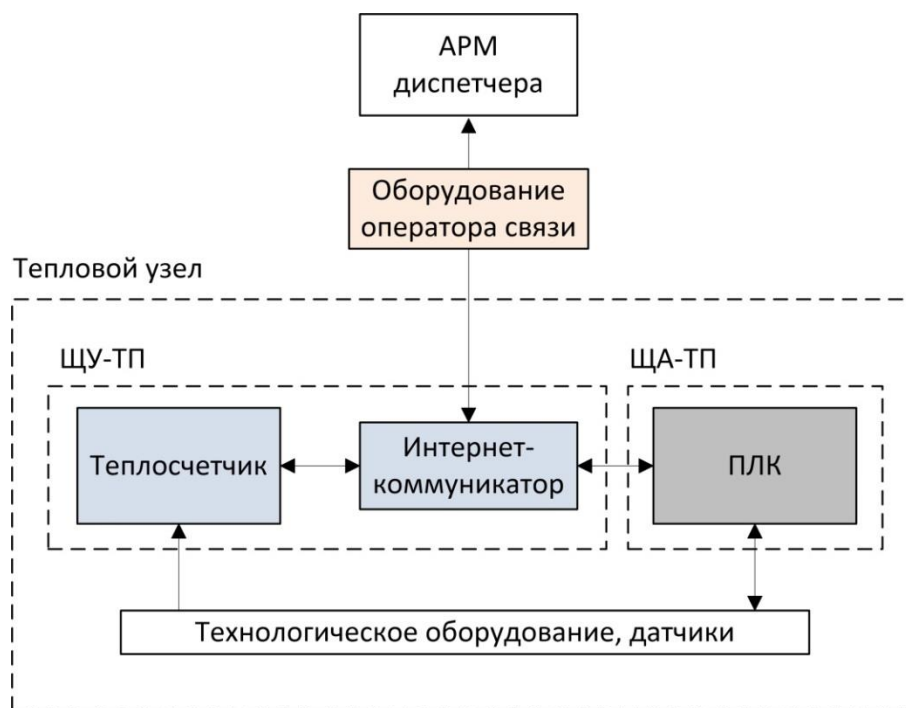


Рисунок 2.3 – Структурная схема АСУ теплового узла

Рассмотрим функциональные части структурной схемы, изображенной на рисунке 2.3:

- ПЛК – это программно-управляемое устройство, работающее в режиме реального времени. Предназначен для сбора, преобразования и последующей обработки, хранения информации, а также выработки команд управления;
- интернет-коммуникатор используется в системах диспетчеризации и удаленного управления для прямого соединения с приборами различного назначения;

- тепловычислитель обеспечивает учет параметров теплоносителя, а также измерение количества тепловой энергии в системах теплоснабжения потребителей тепловой энергии;

- технологическое оборудование и датчики представляют собой набор приборов, таких как термометры, манометры, расходомеры, насосы и т.д.;

- АРМ диспетчера. Система диспетчеризации предназначена для получения информации о параметрах объекта и позволяет в режиме реального времени осуществлять текущий контроль потребления энергоресурсов в удобной для оператора форме.

Таким образом, информация с технологического оборудования и датчиков поступает на ПЛК и тепловычислитель, где осуществляется обработка параметров. Затем данные с помощью интернет-коммуникатора и оборудования оператора связи поступают в диспетчерскую, где можно наглядно отследить параметры теплового пункта.

### 3 Разработка АСУ ТП теплового пункта

#### 3.1 Обоснование структуры АСУ

Регулирование осуществляется с помощью одноконтурной автоматической системы. Цель автоматического регулирования для одноконтурной схемы состоит в поддержании регулируемой величины на заданном значении при помощи регулятора, который осуществляет изменение положения регулирующего клапана. Для системы отопления реализован принцип регулирования по возмущению, а для системы ГВС – по отклонению.

Структурная схема системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 С1.

Регулирование температуры в контуре отопления осуществляется с помощью регулирующего клапана с электроприводом по температуре



наружного воздуха, измеряемой датчиком ДТв. Одновременно с температурой воды в подающем трубопроводе, измеряемой датчиком ДТ-1, контролируется температура обратной воды, измеряемой датчиком ДТ-2, для того, чтобы обеспечить защиту системы от превышения ею недопустимого значения температуры обратной воды. Таким образом, сигналы с датчиков ДТв, ДТ-1, ДТ-2 поступают через промежуточные преобразователи (ПП-5, ПП-1, ПП-2 соответственно) в ПЛК, где вырабатывается сигнал на открытие/закрытие регулирующего клапана. Управление электроприводом клапана осуществляется с помощью исполнительного механизма ИМ-1.

Регулирование температуры ГВС осуществляется с помощью регулирующего клапана с электроприводом. Сигнал с датчика температуры ДТ-3, который установлен за теплообменником, поступает на промежуточный преобразователь ПП-3. После него сигнал подается на ПЛК. Управление электроприводом клапана осуществляется с помощью исполнительного механизма ИМ-2, согласно заданной температуре воды в ГВС.

Для дополнительного контроля над температурой возвращаемого в теплосеть теплоносителя, проходящего через теплообменник ГВС, установлен датчик ДТ-4. Сигнал с него поступает на промежуточный преобразователь ПП-4, а затем на ПЛК, где вырабатывается сигнал на открытие/закрытие регулирующего клапана.

### 3.2 Разработка функциональной схемы АСУ

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, регулирования и управления технологического процесса, а также оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. Условные обозначения запорной арматуры изображены по

ГОСТ 2.785-70 [24], первичные и функциональные измерительные приборы – по ГОСТ 21.208-2013 [25].

Функциональная схема системы управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 С2.

На функциональной схеме технологическое оборудование изображено в виде контуров, упрощённых до такой степени, которая позволяет показать взаимосвязь отдельных частей технологической цепи, принцип её действия, а также взаимодействие с различными техническими средствами системы автоматизации.

На первом этапе разработки функциональной схемы были определены измерительные каналы (1...5, 10, 12, 13...18), каналы управления (9, 11, 21...24), каналы сигнализации (6...8).

На щит автоматизации по каналу 1 передается информация с датчика (1а) для регулирования температуры теплоносителя по температуре наружного воздуха с помощью РК-1. По каналам 2, 3 поступает информация с датчиков температуры (2а, 3а), которая позволяет осуществлять контроль над температурой прямого и обратного теплоносителей. Также на ЩА поступает информация о температуре теплоносителя по каналам 4 и 5 с датчиков (4а, 5а), установленных в контуре ГВС для регулирования температуры горячей воды с помощью РК-2. Для всех насосов в тепловом пункте предусматривается защита от «сухого хода» с помощью прессостатов (6а, 7а, 8а), установленных непосредственно перед Н-1, Н-2, Н-3 и Н-4. Информация с прессостатов поступает по каналам 6, 7 и 8. Также с помощью ПЛК осуществляется попеременная работа насосов (Н-1 и Н-2) по таймеру с помощью подачи сигналов о включении/выключении по каналам 23 и 24.

На щит учета поступает информация с датчиков температуры (13а, 14а) по каналам 13 и 14, датчиков давления (15а, 16а) по каналам 15, 16 и расходомеров (17а, 18а) по каналам 17, 18 для учета технико-экономических показателей с помощью тепловычислителя, установленного в ЩУ.

По месту в различных точках теплового узла (до и после технологического оборудования, запорной арматуры) установлены показывающие приборы: термометры (19а) и манометры (20а). Они позволяют осуществлять контроль параметров и обслуживание теплового пункта персоналом.

Информация с датчиков поступает в ПЛК, который находится в ЩА, а затем передается на ЩУ по проводному каналу связи. Благодаря интернет-коммуникатору, установленному в ЩУ, данные с ПЛК и тепловычислителя передаются на АРМ оператора (см. структурную схему АСУ теплового узла на рисунке 2.3).

### 3.3 Выбор технических средств и составление заказной спецификации

Для разработки АСУ тепловым пунктом необходимо выбрать следующее оборудование:

- программируемый логический контроллер;
- тепловычислитель;
- оборудование АРМ оператора;
- датчик температуры наружного воздуха;
- датчики температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах;
- датчики давления воды в системе отопления;
- расходомеры.

Осуществлять выбор датчиков будем, основываясь на цену, диапазон измерений, степень пыле- и влагозащиты и их погрешность.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации системы управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 СО1.

Программируемый логический контроллер, тепловычислитель, интернет-коммуникатор были предоставлены компанией НПО «ВЭСТ» и на

их основе осуществлена разработка проекта теплового пункта. Рассмотрим подробнее данные устройства.

Программируемый логический контроллер «ВЭСТ-02» – автоматический регулятор, предназначенный для создания систем управления малыми и средними объектами. Данный регулятор можно запрограммировать на работу по определенному «сценарию»: тепловой пункт, вентиляции и др. Создание сценариев можно осуществить в программе «АКИАР» производства НПО «ВЭСТ».

Преимущества ПЛК «ВЭСТ-02»:

- поддержка интерфейсов RS-232 и RS-485;
- возможность подключения GSM/GPRS-модемов, интернет-коммуникаторов, преобразователей и конвертеров;
- возможность интегрирования в существующую АСУ ТП с конвертацией протокола обмена данными;
- бесплатное программное обеспечение для программирования «сценариев» работы контроллера;
- компактный корпус для крепления на DIN-рейку;
- возможность создавать архивы данных.

Технические характеристики ПЛК представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики «ВЭСТ-02» [26]

Параметр	Значение
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	3 ВА
Диапазон контроля температур	-50...+150 °С
Тип входных датчиков температуры	Pt1000
Аналоговых входов	8 шт.
Цифровых входов	5 шт.
Симисторных выходов	6 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.

Продолжение таблицы 3.1

Параметр	Значение
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Средний срок службы	10 лет
Средняя наработка на отказ	50000 ч
Масса прибора	350 г

Интернет-коммуникатор «ВЭСТ-ИС» предназначен для прямого соединения с приборами различного назначения. Используется в системах диспетчеризации и удаленного управления, с наличием IP-сети между автоматизированным рабочим местом оператора и оборудованием. Технические характеристики прибора представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики интернет-коммуникатора «ВЭСТ-ИС» [26]

Параметр	Значение
Напряжение питания постоянного тока	6...12 В
Потребляемая мощность	3 ВА
Входов интерфейса RS-232	1 шт.
Входов интерфейса RS-485	1 шт.
Разъем интерфейса RS-232	DE9M
Разъем интерфейса RS-485	Клеммное соединение
Разъем Ethernet	RJ-45
Средний срок службы	10 лет
Средняя наработка на отказ	50000 ч
Масса прибора	150 г

Тепловычислитель «ТВ7-04.1» обеспечивает учет параметров теплоносителя и измерение количества тепловой энергии в открытых и закрытых системах теплоснабжения потребителей и производителей

тепловой энергии. Технические характеристики прибора представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики тепловычислителя «ТВ7-04.1» [27]

Параметр	Значение
Кол-во тепловых вводов (ТВ)	2
Водосчетчики и расходомеры (ВС)	4
Термометры сопротивления (ТС)	3
Преобразователи давления (ПД)	3
Интерфейс связи	RS-232, RS-485, Ethernet, USB, SD карта
Степень защиты корпуса	IP54
Температура окружающего воздуха	- 10...+50 °С
Средняя наработка на отказ, не менее, часов	75 000
Средний срок службы, не менее, лет	12
Межповерочный интервал, лет	4
Источник питания	встроенная батарея
Напряжение питания от встроенной литиевой батареи, В	3,6
Подключение сетевого блока питания (220 В)	да (поставляется отдельно)
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	210х130х75
Вес прибора, кг	2,5

### 3.3.1 Выбор оборудования АРМ оператора

Для обеспечения надежной и стабильной работы диспетчерской системы необходимо обеспечить минимальные системные требования к ПК диспетчера:

- процессор Intel Core i5 или выше;

- операционная система Windows 7, Windows 8 или 8.1, Windows 10;
- оперативная память не менее 4 Гб;
- рекомендуется использовать видеокарты с видео памятью не менее 1 Гб;
- жесткий диск с частотой вращения шпинделя 7200 оборотов в минуту или SSD-диск уровня Enterprise (для надежного хранения данных);
- звуковая карта высокого качества;
- сетевой адаптер Ethernet;
- монитор с разрешением 1366x768 пикселей или выше;
- клавиатура и мышь.

Таким образом, на основании упомянутых выше требований было выбрано необходимое оборудование. Технические характеристики представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики оборудования

Оборудование	Характеристика
Системный блок	Процессор Core i5 9400; оперативная память 8 Гб; поддержка Wi-Fi, Ethernet LAN; видеокарта GeForce GTX 1650
Монитор	Диагональ 23,8"; максимальное разрешение 1920x1080 пикселей; технология изготовления матрицы IPS
Клавиатура	Мембранная; бесшумные клавиши; имеется цифровой блок
Мышь	Беспроводная; оптический светодиодный сенсор; максимальное разрешение датчика 1200 dpi

### 3.3.2 Выбор датчика температуры наружного воздуха

Рассмотрим датчики температуры наружного воздуха.

Датчик AGS54 от производителя «Thermokon Sensortechnik» (Германия) применяется для измерения температуры окружающей среды и

устанавливается как снаружи, так и внутри таких помещений как склады, овощехранилища, теплицы, холодильные камеры. Датчик может быть укомплектован различными термосопротивлениями, что позволяет подключить его к широкому ассортименту контроллеров. Внутри датчика расположена клеммная колодка с винтовыми зажимами.

Датчик наружной температуры ATF2 от производителя «Shuft» (Дания) предназначен для измерения наружной температуры воздуха и температуры во влажных помещениях. Например, в качестве датчика погоды, для установки на наружных стенах, для использования в холодильных установках, теплицах, спортсооружениях, промышленности и сельском хозяйстве.

Далее в таблице 3.5 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 3.5 – Технические характеристики датчиков температуры [28, 29]

Параметр	Тип датчика температуры, характеристика	
	AGS54	ATF2
Диапазон измерения	-50...+150 °C	-50...+90 °C
Выходной сигнал	пассивный	пассивный
Термосопротивление	PT1000	PT1000
Подключение	по 2-х проводной схеме (опционально 4-х проводное подключение)	по 2-х проводной схеме (опционально 4-х проводное подключение)
Предел допускаемой приведенной погрешности	±1 %	±1 %
Пыле- и влагозащита	IP65	IP64
Цена	2130 руб.	2306 руб.

Таким образом, выбираем датчик AGS54 от производителя Thermokon Sensortechnik (Германия).



### 3.3.3 Выбор датчиков температуры

Рассмотрим датчики для измерения температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах и в системе ГВС.

Датчик температуры накладной AF25 от производителя «Thermokon Sensortechnik» (Германия) предназначен для измерения температуры тела, как правило, труб горячего водоснабжения, контура обратной воды в системах вентиляции и кондиционирования и других выгнутых поверхностях. Датчик представляет собой измерительный элемент в виде гильзы с изогнутой пластиной. Принцип измерения основан на изменении электрического сопротивления чувствительного элемента датчика при изменении температуры поверхности тела.

Термопреобразователи сопротивления TR50 от производителя «WIKА» (Германия) предназначены для измерений температуры жидких, газообразных и сыпучих сред, не разрушающих их защитную арматуру, а также твердых поверхностей, во взрывобезопасных и взрывоопасных зонах.

Далее в таблице 3.6 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 3.6 – Технические характеристики датчиков температуры [30, 31]

Параметр	Тип датчика температуры, характеристика	
	AF25	TR50
Диапазон измерения	-50...+135 °С	-200...+600 °С
Выходной сигнал	пассивный	пассивный
Термосопротивление	PT1000	PT1000
Предел допускаемой приведенной погрешности	±1 %	±1 %
Подключение	по 2-х проводной схеме (также трёх- и четырёхпроводное подключение)	по 2-х проводной схеме (также трёх- и четырёхпроводное подключение)
Пыле- и влагозащита	IP65 в соответствии DIN EN 60529, SI-защита	IP65 (IP67 – по запросу)
Цена	1743,53 руб.	3500 руб.

Таким образом, представленные датчики имеют схожие характеристики, поэтому выбираем наиболее дешевый вариант: датчик AF25 от производителя «Thermokon Sensortechnik» (Германия).

Рассмотрим термопреобразователи сопротивления для измерения температуры теплоносителя и учета технико-экономических показателей.

Комплекты термопреобразователей сопротивления платиновых КТС-Б от производителя «Теплоком-Сервис Москва» (Россия) предназначены для измерения разности температур, а также значений температур в обратном и подающем трубопроводах системы теплоснабжения.

Комплекты термопреобразователей ТЭСМА-К от производителя «Энергосберегающая компания «ТЭМ» (Россия) предназначены для измерения разности температуры жидких и газообразных сред, не агрессивных к материалу защитного корпуса и гильзы термопреобразователя сопротивления.

Далее в таблице 3.7 представлены технические характеристики рассматриваемых термопреобразователей сопротивления.

Таблица 3.7 – Технические характеристики термопреобразователей сопротивления [32, 33]

Параметр	Тип термопреобразователя сопротивления, характеристика	
	КТС-Б	ТЭСМА-К
Диапазон измерения	0...+160 °С	0...+100 °С (или 0...+160 °С)
Термосопротивление	PT1000	PT1000
Класс допуска	АА	А
Подключение	по двух проводной схеме (также трёх- и четырёхпроводное подключение)	по двух проводной схеме (также четырёхпроводное подключение)
Пыле- и влагозащита	IP65 (опционально IP68)	IP55
Цена (за комплект)	2338 руб.	3404 руб.

Таким образом, выбираем комплект термопреобразователей КТС-Б от производителя «Теплоком-Сервис Москва» (Россия).

Рассмотрим показывающие термометры для установки в трубопроводах теплового узла. Они позволяют осуществлять контроль температуры и обслуживание теплового пункта.

Термометр СП-2 от производителя «Теплоприбор» (Россия) предназначен для местного контроля температуры в трубопроводах, сосудах и других промышленных установках. Термометр имеет вложенную внутрь шкальную пластину из бумаги или листового стекла молочного цвета.

Термометр ТТЖ-М от производителя «Теплоприбор» (Россия) предназначен для установки на трубопровод в качестве прибора контроля и используется для измерения температуры среды в трубопроводах, а также в технических воздушнопарогазосиловых установках. Измерение температуры производится при полном погружении нижней части термометра в рабочую среду. Для монтажа термометра используются защитные оправы и бобышки.

Далее в таблице 3.8 представлены технические характеристики рассматриваемых термометров.

Таблица 3.8 – Технические характеристики термометров [34, 35]

Параметр	Тип термометра, характеристика	
	СП-2	ТТЖ-М
Диапазон измерения	0...+150 °С	0...+200 °С
Цена деления	2 °С	2 °С
Длина	320 мм	306 мм
Термометрическая жидкость	Органическая жидкость	Керосин или метилкарбитол
Цена	136 руб.	103 руб.

Представленные термометры имеют схожие характеристики, поэтому выбираем наиболее дешевый вариант: термометр ТТЖ-М от производителя «Теплоприбор» (Россия).

### 3.3.4 Выбор датчиков давления

Прессостат KPI35 от компании «Danfoss» (Дания) используются для систем регулирования, контроля и аварийной сигнализации в промышленных установках. Реле находит широчайшее применение в различных технологических процессах таких как: системы тепло и водоснабжения разнообразных бытовых и производственных объектов, химическая металлургия, медицина, машиностроение. Реле обладают высокой виброустойчивостью, надежностью, точностью и широким диапазоном давлений.

Реле давления ДЕМ102 от производителя «ОРЛЭКС» (Россия) относится к категории приборов, контролирующих уровень давления в жидких и газообразных средах. Используется в различных системах и установках.

Далее в таблице 3.9 представлены технические характеристики рассматриваемых реле давления.

Таблица 3.9 – Технические характеристики реле давления [36, 37]

Параметр	Тип реле давления, характеристика	
	KPI35	ДЕМ102
Диапазон регулировки давления	-0,2...8 бар	-0,9...60 бар
Рабочая среда	Вода, воздух, масла	Вода, хладоны, воздух, масла и другие неагрессивные среды
Пыле – и влагозащита	IP55	IP54
Цена	3524 руб.	3510 руб.

Так как степень пыле- и влагозащиты KPI35 выше и не требуется измерять давление в большом диапазоне выбираем реле давления KPI35 от производителя «Danfoss» (Дания).

Рассмотрим датчики для измерения давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах теплового узла.

Датчик избыточного давления ПДТВХ-1-02 от производителя «Теплоком-Сервис Москва» (Россия) является необходимым элементом системы автоматического учета параметров сетей жилищно-коммунального хозяйства. Данный преобразователь избыточного давления предназначен для измерений в системах водоснабжения и отопления, преобразования данных в стандартизированный электрический сигнал и его передачи на контрольное устройство, осуществляющее управление.

Датчик избыточного давления А-10 от производителя «Wika» (Германия). Датчик А-10 используют для измерения избыточного давления, мановакууметрического давления, абсолютного давления, а также он рассчитан на низкие диапазоны давлений. Применяется в машиностроении, кораблестроении, контрольно-измерительных технологиях, гидравлике и пневматике, насосах и компрессорах.

Далее в таблице 3.10 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 3.10 – Технические характеристики рассматриваемых датчиков давления [38, 39]

Параметр	Тип датчика давления, характеристика	
	ПДТВХ-1-02	А-10
Измеряемая среда	жидкость, пар, газ	жидкость, пар, газ
Верхние пределы измерений	2,5 МПа	100 МПа
Предел допускаемой основной погрешности	0,5 %	1 % (0,5 % – на заказ)
Температура окружающей среды	- 40...80 °С	- 40...70 °С
Диапазон температур измеряемой среды	- 45...125 °С	0...80 °С (-30...100 °С по запросу)
Степень защиты	IP65	IP67, IP65
Присоединение к системе	M20x1,5	G 1/4A по DIN 3851 E (M20x1,5 через переходник)
Цена	3500 руб.	6966 руб.

Выбираем датчик избыточного давления ПДТВХ-1-02 от производителя «Теплоком-Сервис Москва» (Россия).

Рассмотрим показывающие манометры для установки в трубопроводах теплового узла. Они позволяют осуществлять контроль давления и обслуживание теплового пункта.

Манометры МПЗ-У от производителя «Манотомь» (Россия) предназначены для измерения давления и разряжения неагрессивных, некристаллизующихся жидкостей, пара, газа в том числе кислорода, ацетилена, хладонов.

Манометры МП100М от производителя «ЮМАС» (Россия) предназначены для измерения избыточного давления в газообразных средах и некристаллизующихся жидкостях. Изделия разработаны с целью применения в промышленности (на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях), сферах энергетики и жилищного хозяйства.

Далее в таблице 3.11 представлены технические характеристики рассматриваемых манометров.

Таблица 3.11 – Технические характеристики манометров [40, 41]

Параметр	Тип манометра, характеристика	
	МПЗ-У	МП100М
Верхний предел измерения	4 кгс/см <sup>2</sup>	4 кгс/см <sup>2</sup>
Класс точности	1,5	1,5
Диаметр корпуса	100 мм	100 мм
Цена	370 руб.	500 руб.

Представленные манометры имеют схожие характеристики, поэтому выбираем наиболее дешевый вариант: манометр МПЗ-У от производителя «Манотомь» (Россия).

### 3.3.5 Выбор расходомеров

Рассмотрим расходомеры, которые используются в тепловом пункте для учета технико-экономических показателей.

Расходомеры электромагнитного типа «Питерфлоу РС» от производителя «Тепломер-Сервис» (Россия) предназначены для измерений объемного расхода и объема питьевой воды и воды в системах отопления зданий. Применяется также для расчета потребленной тепловой энергии в составе с вычислителями различных марок. Особенности данного расходомера: многоуровневая защита от несанкционированного доступа; графический дисплей с подсветкой, содержащий всю необходимую контрольную и эксплуатационную информацию; конструктивная защита от протечек и конденсата; наличие коммуникационных адаптеров Ethernet, RS-232.

Расходомер Метран-370 от производителя «Промышленная группа «Метран» (Россия) предназначен для измерения объемного расхода электропроводящих жидкостей, пульп и суспензий. Используются в системах автоматического контроля, управления технологическими процессами в химической, пищевой, энергетической, и других отраслях промышленности, а также в системах коммерческого учета потребления жидкостей.

Далее в таблице 3.12 представлены технические характеристики рассматриваемых расходомеров.

Таблица 3.12 – Технические характеристики расходомеров [42, 43]

Параметр	Тип расходомера, характеристика	
	Питерфлоу РС	Метран-370
Условный диаметр	80 мм	80 мм
Максимальный расход	180 м <sup>3</sup> /ч	171,7 м <sup>3</sup> /ч
Рабочее давление измеряемой среды, не более	1,6 МПа	4 МПа

Продолжение таблицы 3.12

Параметр	Тип расходомера, характеристика	
	Питерфлоу РС	Метран-370
Температура измеряемой среды	0...150 °С	-29...180 °С
Материал фланца	Нержавеющая сталь	Сталь 20 или нержавеющая сталь
Напряжение питания	12 В постоянного тока	12 В постоянного тока
Пыле – и влагозащита	IP66	IP68
Цена	36960 руб.	50000 руб.

Выбираем наиболее дешевый вариант: расходомер «Питерфлоу РС» от производителя «Тепломер-Сервис» (Россия).

### 3.4 Разработка схемы электрической соединений

Схема электрическая соединений отображает все устройства и элементы, входящие в состав изделия, а также соединение между этими устройствами и элементами.

Рассмотрим требования, предъявляемые к схемам электрическим соединений:

- надежность – способность выполнять заданные функции, при этом сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания и ремонтов;
- безопасность работы обслуживающего персонала, предотвращение брака продукции, повреждения оборудования при аварийных ситуациях, которые вызваны поломками в цепях схемы;



- удобство эксплуатации, связанное с минимумом затрат труда и внимания работающего персонала и проведением ремонтных работ при соблюдении необходимых мер по обеспечению безопасности;
- экономичность, включающая стоимость входящих в систему элементов и соединительных линий.

Схемы электрические соединений являются основанием для разработки других документов проекта: монтажных схем и таблиц щитов и пультов, схем подключения и соединения внешних проводок и т. д. Они образуются из функциональных схем автоматизации на основе заданных алгоритмов функционирования отдельных узлов контроля, сигнализации, автоматического регулирования и управления, а также общих технических требований, предъявляемых к автоматизируемому объекту [44].

Схема электрическая соединений щита автоматизации представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 Э4. Схема электрическая соединений щита управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.111 Э4.

Устройства схемы изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД [45]. На схеме для каждого из устройств отображаются только задействованные клеммы в соответствии с его технической документацией. В нижней части схем изображены блоки зажимов для ввода/вывода информации. Линии связи от них состоят из вертикальных и горизонтальных линий и имеют минимально возможное число взаимных пересечений.

Совместно с разработкой чертежа схемы электрической соединений системы автоматизации должны составляться перечни элементов, входящих в щит.

Перечень элементов щита автоматизации представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.011 ПЭ. Перечень элементов щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.111 ПЭ.

### 3.5 Разработка монтажной схемы

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические, трубные связи между приборами и всеми средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, на щитах и вне щитов, а также подключения проводок к щитам и приборам. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются:

- отборные устройства и первичные преобразователи, которые встраиваются в технологическое оборудование, а также трубопроводы;
- приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- пульты, щиты и т.п.;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников.

Схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.011 С4.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров (температура, давление, расход и т.д.), измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже условно изображены датчики, установленные в тепловом узле, от которых отходят кабели. Рядом с кабелем указана его марка, поперечное сечение и количество жил, протяженность, а также марка гофрированных трубок. Линии, проведенные от датчиков, соединены с щитом автоматизации и щитом управления. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков.

Электропроводки систем автоматизации выполняются кабелями и изолированными проводами (защищенными и незащищенными) с медными и алюминиевыми жилами. В цепях измерения, управления, питания,

сигнализации и т.п. допускается применять медные жилы. Особое внимание должно уделяться соответствию технических данных кабелей и проводов условиям окружающей среды. Необходимо, чтобы защитные оболочки, наружные покровы, изоляция кабелей и проводов отвечали условиям окружающей среды, принятому способу выполнения электропроводок.

Электропроводки в данной работе выполняются кабелями в исполнении «нг-LS», не распространяющими горение при групповой прокладке. Кабели прокладываются в виниловых гофрированных трубах и кабельных каналах. Выбранные проводки представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Электрические и трубные проводки

Обозначение	Наименование
ВВГнг(A)-LS	Кабель силовой
КСВВнг(A)-LS	Кабель для систем сигнализации, контроля доступа, управления, сбора данных.
КСВЭВнг(A)-LS	Кабель не распространяющий горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением
ДКС	Гофра виниловая

### 3.6 Разработка общего вида щитов

Щиты управления и автоматизации отвечают за измерение и контроль значений основных параметров протекающих технологических процессов обслуживаемых систем. В зависимости от состава аппаратуры такого рода оборудование может выполнять различные задачи, соответственно, будет разниться и отрасль, где применяется то или иное исполнение щита.

Чертеж общего вида щита поясняет принцип его работы, показывает его конструкцию и как взаимодействуют его части. В шкафах и щитах систем автоматизации размещают средства контроля и управления технологическим процессом, сигнальные устройства, аппаратуру управления, контрольно-

измерительные приборы, блокировки и защиты линий связи между ними. Шкафы систем автоматизации устанавливают в производственных и специализированных помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.д. Общие виды шкафов должны быть выполнены в объеме, позволяющем изготовить оборудование на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, необходимыми для установки приборов, средств автоматизации и вводов проводок.

Исходными материалами для проектирования общих видов щитов являются функциональные схемы систем автоматизации и принципиальные электрические схемы, которые были спроектированы выше.

В данной выпускной квалификационной работе для размещения средств автоматизации используются два щита ЩМП-3-0 У2 IP54 650x500x220, IEK. Они позволяют производить монтаж аппаратуры как модульного, так и обычного исполнения. Сварной металлический корпус изготовлен со съемной монтажной панелью. В дверце корпуса щита имеется пылевлагонепроницаемый замок. Корпус обладает степенью защиты IP54 и имеет уплотнение на дверце из двухкомпонентного герметика.

Схема общего вида щита автоматизации представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 ВО. Схема общего вида щита управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.111 ВО.

#### 4 Расчет параметров настройки ПИ регулятора

##### 4.1 Идентификация объекта управления

Идентификация объекта управления предназначена для получения математической модели объекта управления. В инженерной практике применяют активную идентификацию. При активной идентификации на объект подаются заранее известные возмущающие воздействия, и регистрируется выходная величина.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в трубопроводе, составленная на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона представлена на рисунке 4.1.

По полученной кривой разгона необходимо определить динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени, время запаздывания, коэффициент передачи.

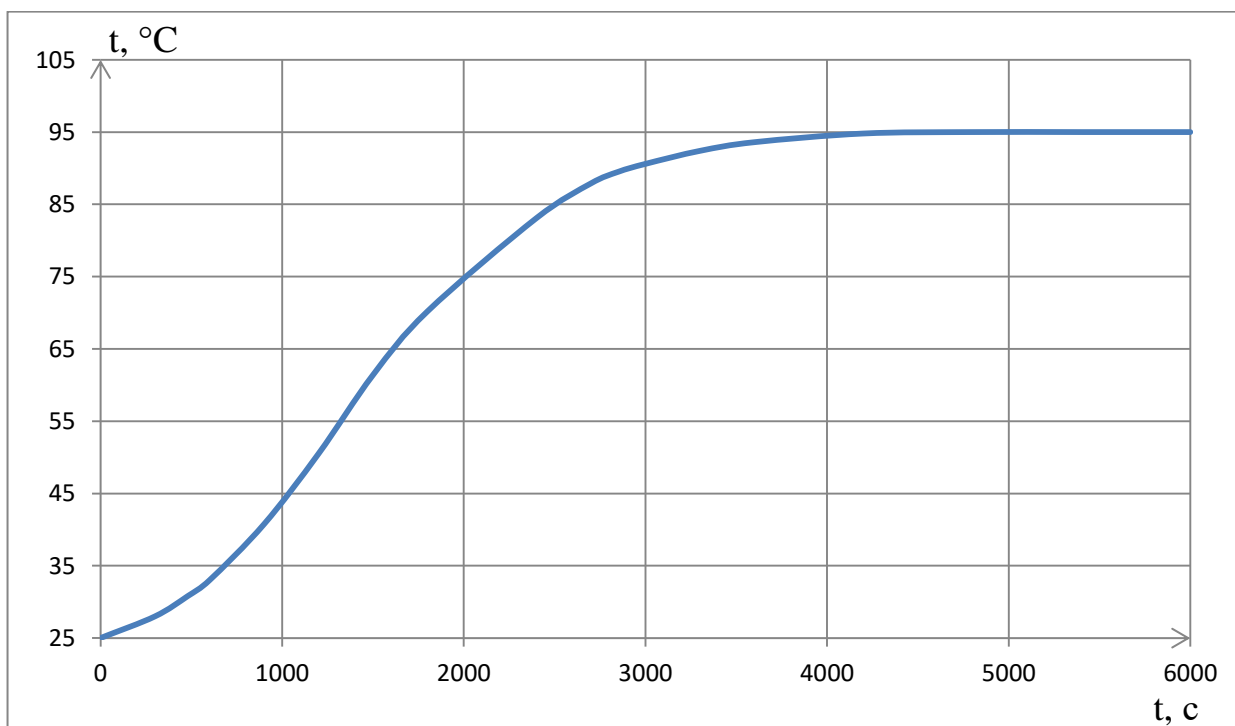


Рисунок 4.1 – Кривая разгона объекта управления

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W_o(p) = \frac{k}{(T \cdot p + 1)} e^{-p \cdot \tau}, \quad (4.1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;

$p$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

На графике кривой разгона проводится касательная в максимальной точке скорости изменения величины (рисунок 4.2).

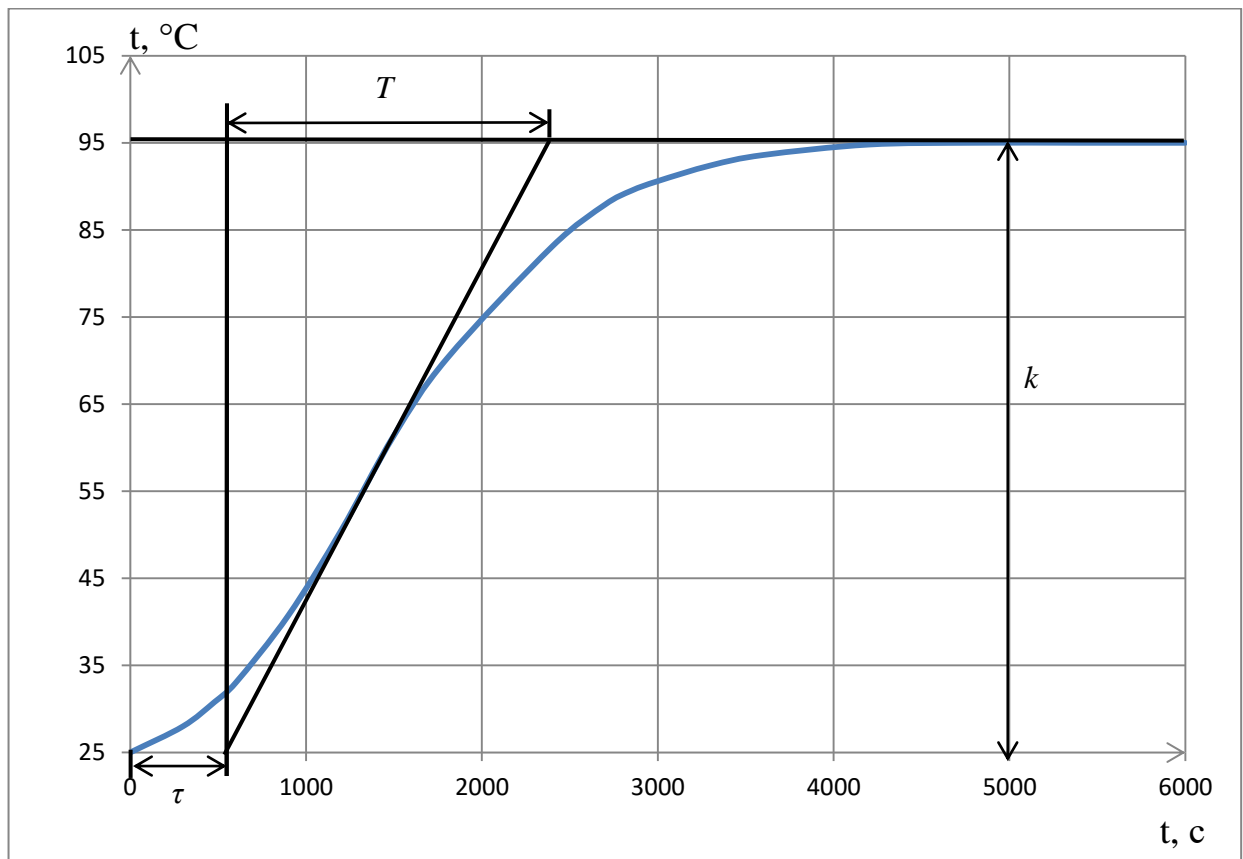


Рисунок 4.2 – Кривая разгона объекта управления

По графику определяются динамические параметры объекта:

- коэффициент усиления  $k = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- время запаздывания  $\tau = 480 \text{ с}$ ;
- постоянная времени  $T = 1920 \text{ с}$ .

Тогда передаточная функция имеет вид:

$$W_o(p) = \frac{70}{(1920 \cdot P + 1)} e^{-480 \cdot p}.$$

## 4.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Структурная схема системы регулирования изображена на рисунке 4.3.

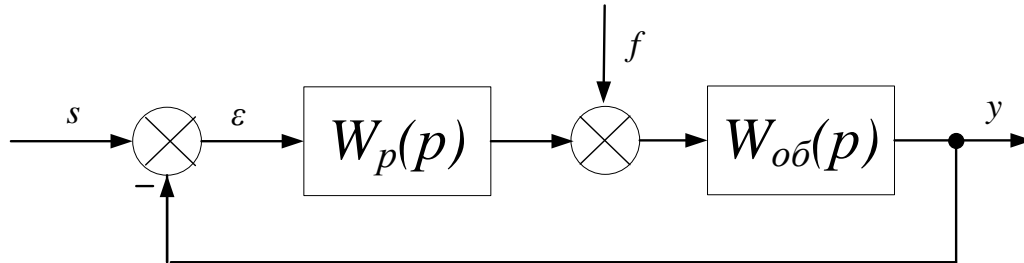


Рисунок 4.3 – Структурная схема системы регулирования

Для того, что осуществить расчёт АСР с ПИ-регулятором, представленной на рисунке 4.3, необходимо провести синтез системы автоматического регулирования при  $\psi=1$ .

Основная идея метода [46] состоит в том, чтобы при  $M=1$  выбором параметров системы регулирования максимально расширить в области низких частот горизонтальный участок АЧХ системы. Это соответствует увеличению диапазона пропускаемых частот, а следовательно, и быстродействию системы регулирования. Математическая формулировка этой идеи может быть представлена так:

$$\frac{d^m A_3(\omega)}{d\omega^m} \Big|_{\omega=0} = 0, \quad m = 1, 2, \dots, z, \quad (4.2)$$

где  $z$  – число варьируемых параметров системы (число параметров регулятора).

Передаточная функция разомкнутой системы определяется как:

$$W(p) = W_o(p) \cdot W_p(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p\tau}} \cdot k_p \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_H \cdot p} \right), \quad (4.3)$$

где  $W_o(p)$  – передаточная функция объекта;

$W_p(p)$  – передаточная функция регулятора.

Преобразуем данную формулу. Получим формулу следующего вида:

$$W(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p \cdot \tau}} \cdot \frac{k_1 + k_p \cdot p}{p}, \quad (4.4)$$

где  $k_I = k_p / T_H$ .

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W_3(p) = \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot p}{(T_0 \cdot p^2 + p) \cdot e^{p \cdot \tau} + C_0 + C_1 \cdot p} = \frac{B(p)}{A_1(p) + B(p)}. \quad (4.5)$$

Определим производные от  $A_1(p)$  и  $B(p)$  по  $p$  при  $p=0$  и подставим их в следующую формулу для астатической системы регулирования (для  $m=1$  и  $m=2$ ):

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[ A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0} = \\ & = \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[ A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot B^{(k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \cdot B^{(2m-k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

В результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} 2 \cdot (T+1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 2 \cdot k \cdot k_p = 1, \\ (3 \cdot T+1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 3 \cdot (2 \cdot T+1) \cdot k \cdot k_p = -3 \cdot T^2, \end{cases} \quad (4.7)$$

где  $T = T_0 / \tau$ .

Разрешив систему относительно  $\tau \cdot k \cdot k_1$  и  $k \cdot k_p$  и подставив в данные формулы известные величины получим:

$$\begin{aligned} 480 \cdot 70 \cdot \frac{k_p}{T_H} &= \frac{6 \cdot 16 + 6 \cdot 4 + 3}{4 \cdot (3 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1)}, \\ 70 \cdot k_p &= \frac{6 \cdot 64 + 6 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1}{4 \cdot (3 \cdot 16 + 3 \cdot 4 + 1)}. \end{aligned}$$

Решив данную систему уравнений получим:

$$T_H = 1924,$$

$$k_p = 0,0289.$$

Таким образом, передаточная функция регулятора имеет вид:



$$W_p(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_{up} p} \right) = 0,0289 + \frac{0,0289}{1924 \cdot p}. \quad (4.8)$$

4.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{s-y} = \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \quad (4.9)$$

Рассчитаем ВЧХ замкнутой АСР с помощью программных вычислительных средств в диапазоне частот от 0 до 0,008 с<sup>-1</sup> с шагом  $\Delta\omega = 0,0005$  с<sup>-1</sup>. Полученные результаты представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{\text{з.с.}}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{\text{з.с.}}(\omega)$
0	1	0,0045	-0,2249
0,0005	0,8869	0,0050	-0,1422
0,0010	0,5568	0,0055	-0,0766
0,0015	0,0739	0,0060	-0,0253
0,0020	-0,3519	0,0065	0,0142
0,0025	-0,5434	0,0070	0,0442
0,0030	-0,5341	0,0075	0,0664
0,0035	-0,4377	0,0080	0,0823
0,0040	-0,3256		

По данным таблицы 4.1 выполняется построение графика вещественной частотной характеристики. Полученный график представлен на рисунке 4.4.

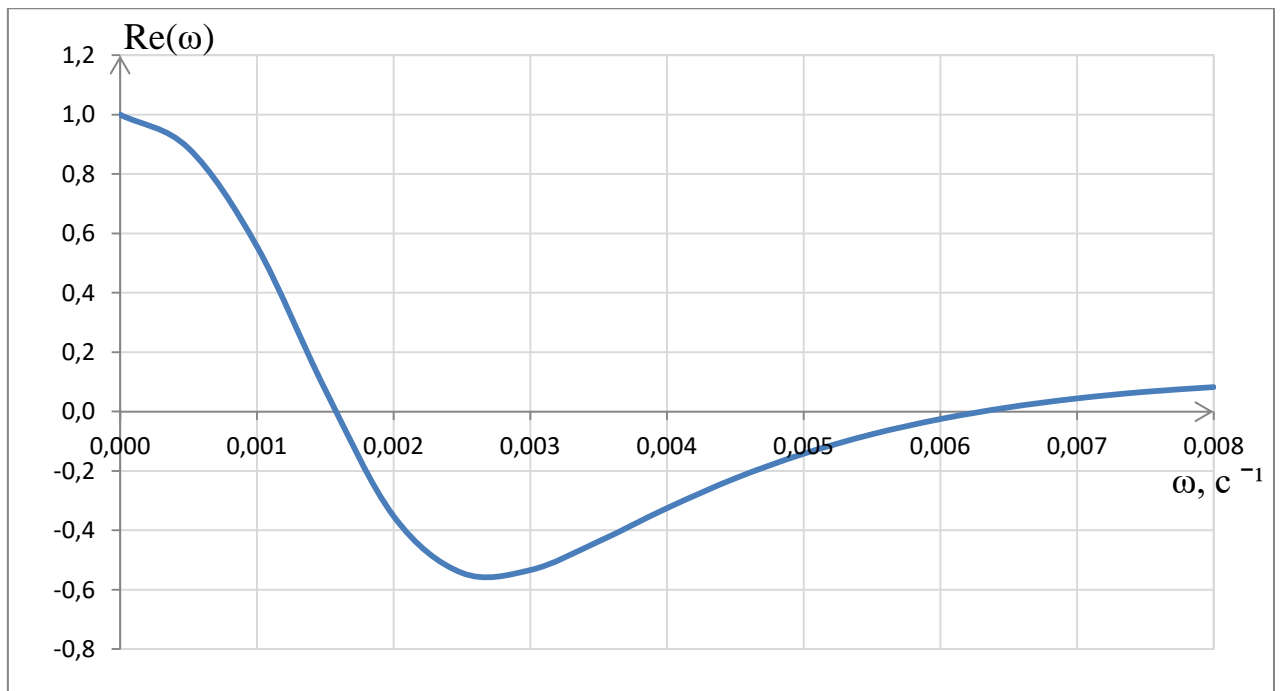


Рисунок 4.4 – График ВЧХ замкнутой системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (4.10)$$

где  $\text{Re}(\omega)$  – вещественная частотная характеристика системы;

$\omega$  – частота;

$t$  – продолжительность переходного процесса.

Для достижения точности расчета в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а число, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к нулю. Это число определяется из рисунка 4.4.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,0062} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega. \quad (4.11)$$

Задав диапазон изменения времени переходного процесса от 0 до 5000 с, рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР

t, с	T, °C	t, с	T, °C
0	25,00	2600	97,38
200	25,35	2800	96,68
400	26,47	3000	96,12
600	33,82	3200	95,63
800	48,59	3400	95,28
1000	63,29	3600	95,07
1200	75,82	3800	94,93
1400	85,34	4000	94,86
1600	91,71	4200	94,86
1800	95,56	4400	94,86
2000	97,45	4600	94,86
2200	98,01	4800	94,93
2400	97,87	5000	94,95

По результатам расчета выполняется построение графика переходного процесса системы по каналу возмущения. Полученный график представлен на рисунке 4.5.

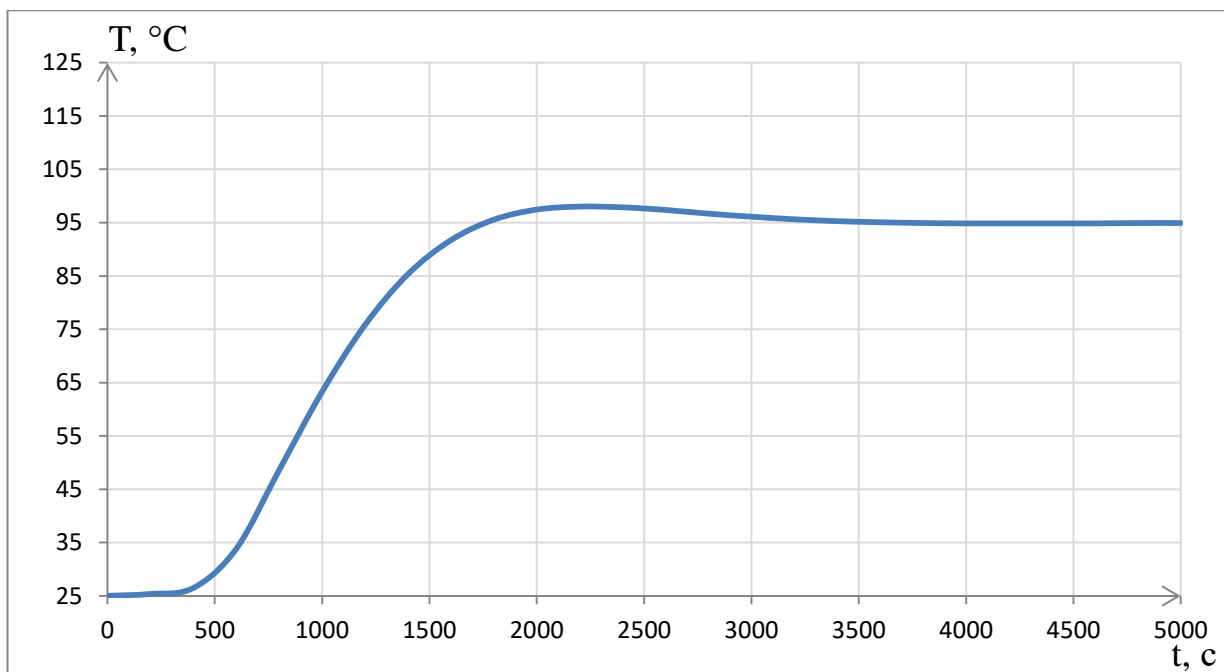


Рисунок 4.5 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Для точности расчетов возьмем график в увеличенном масштабе в интервале времени от 600 до 5000 с, температуры от 75 до 115 °С (рисунок 4.6).

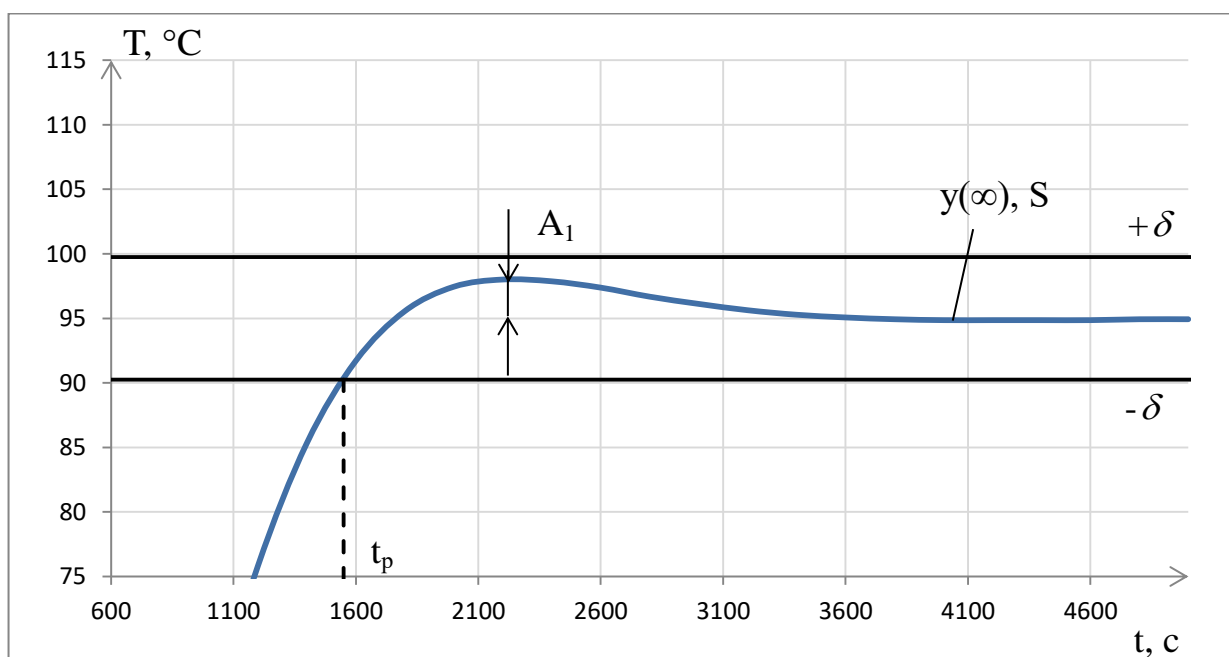


Рисунок 4.6 – Фрагмент графика переходного процесса замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества [46]:

- перерегулирование:

$$\sigma = \frac{T_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{98 - 95}{95} \cdot 100 = 3,2 \%, \quad (4.12)$$

где  $y(\infty)$  – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса  $t$ ;

- степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{3} = 1; \quad (4.13)$$

- статическая ошибка:

$$\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 95 - 95 = 0, \quad (4.14)$$

где  $S=1(t)$  – сигнал задающего воздействия;

- время регулирования:

$$t_p = 1550 \text{ с (при величине } \delta = 4,75);$$

- максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 3.$$

#### 4.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу  $f$ -у для одноконтурной системы регулирования, приведенной на рисунке 1, имеет вид:

$$W_{f-y}(p) = \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \quad (4.15)$$

Рассчитаем ВЧХ замкнутой АСР с помощью программных вычислительных средств в диапазоне частот от 0 до  $0,01 \text{ с}^{-1}$  с шагом  $\Delta\omega = 0,0005 \text{ с}^{-1}$ . Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета ВЧХ системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$
0	0	0,0055	-2,873
0,0005	22,722	0,0060	-1,074
0,0010	26,557	0,0065	0,327
0,0015	11,625	0,0070	1,400
0,0020	-5,878	0,0075	2,200
0,0025	-15,503	0,0080	2,770
0,0030	-17,065	0,0085	3,144
0,0035	-14,690	0,0090	3,344
0,0040	-11,253	0,0095	3,390
0,0045	-7,953	0,0100	3,294
0,0050	-5,147		

С помощью данных таблицы 4.3 выполняется построение графика ВЧХ системы. Полученный график представлен на рисунке 4.7.

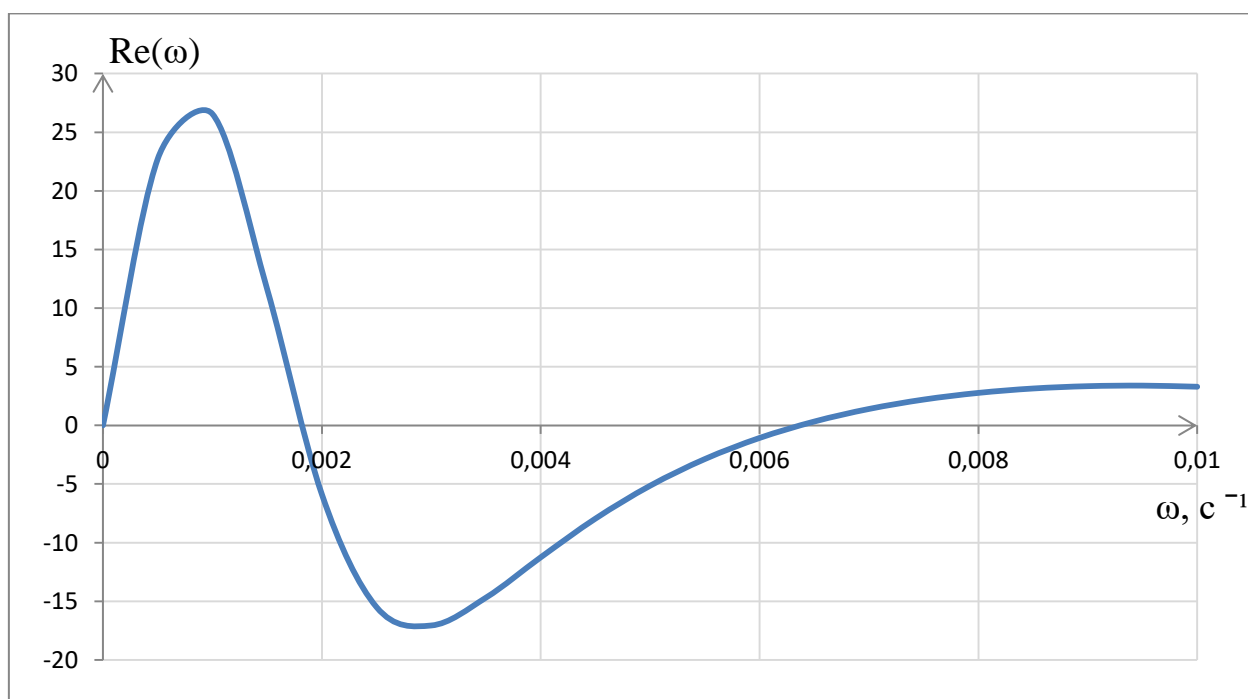


Рисунок 4.7 – График ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу возмущения рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,0063} \frac{\operatorname{Re}_{3.C.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (4.16)$$

где 0,0063 – частота среза, при которой график  $\operatorname{Re}(\omega)$  стремится к 0, определяется эта частота из графика ВЧХ (рисунок 4.7).

Задав диапазон изменения времени переходного процесса от 0 до 15000 с, рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представим в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР

t, с	T, °C	t, с	T, °C
0	25	7800	25,975
600	29,432	8400	25,716
1200	45,933	9000	25,527
1800	48,255	9600	25,381
2400	38,002	10200	25,284
3000	37,400	10800	25,205
3600	33,628	11400	25,150
4200	31,266	12000	25,112
4800	29,599	12600	25,079
5400	28,401	13200	25,060
6000	27,497	13800	25,043
6600	26,820	14400	25,031
7200	26,341	15000	25,025

По результатам расчета построим график переходного процесса системы по каналу возмущения (рисунок 4.8).

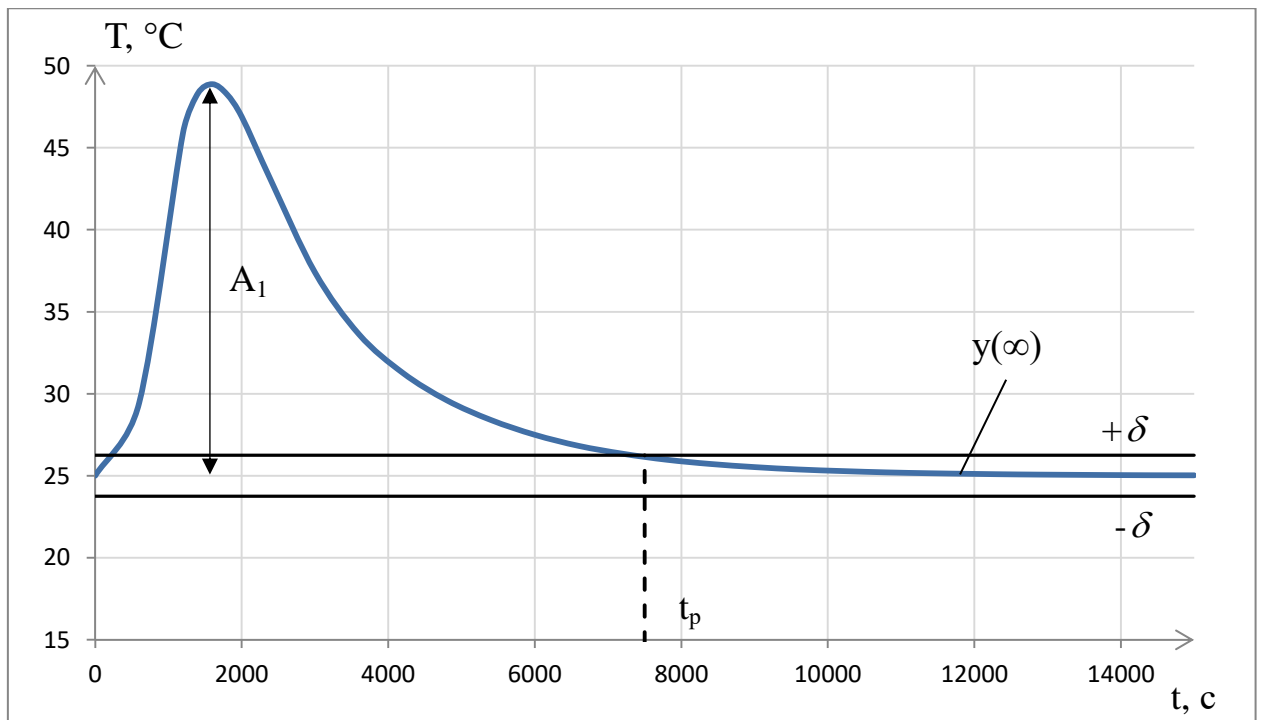


Рисунок 4.8 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущения

Прямые оценки качества [46]:

– перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0}{23,5} \cdot 100 = 0 \%, \quad (4.17)$$

где  $A_3 = 0$  – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

– динамический коэффициент регулирования:

$$R_D = \frac{A_1}{k} \cdot 100 = \frac{23,5}{70} \cdot 100 = 33,6 \%, \quad (4.18)$$

где  $k = 70$  – коэффициент передачи объекта;

– степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{23,5} = 1, \quad (4.19)$$

где  $A_2 = 0$  – второй максимальный выброс регулируемой величины;

– статическая ошибка:

$$\varepsilon_{CT} = 0;$$



- время регулирования:

$$t_p = 7500 \text{ с (при величине } \delta = 1,25);$$

- максимальная динамическая ошибка:

$$A_I = 23,5.$$

## 5 Мнемосхема процесса

Мнемоническая схема (мнемосхема) – наглядное, схематическое условное представление системы или процессов системы в символьно-графической форме. Мнемосхема предназначена для: наглядного отображения исследуемой системы и информации о его состоянии в объеме, необходимом для выполнения оператором возложенных на него функций; отображения связи и характера взаимодействия управляемого объекта с другими объектами и внешней средой; сигнализирования обо всех существенных нарушениях в работе объекта; обеспечения быстрого выявления возможности локализации и ликвидации неисправности [47].

Согласно ГОСТ 21480-76 [47] к мнемосхемам предъявляются следующие основные требования:

- мнемосхема должна содержать элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления объектом, на мнемосхеме должны выделяться размерами, формой, цветом или другими способами;
- при компоновке мнемосхемы должно быть обеспечено пространственное соответствие между расположением элементов на мнемосхеме и расположением органов управления на пульте оператора. Допускается размещение на поле мнемосхемы приборов контроля и органов управления, которые не должны закрывать другие элементы мнемосхемы;

- при компоновке мнемосхем должны учитываться привычные ассоциации оператора;
- соединительные линии на мнемосхеме должны быть сплошными, простой конфигурации, минимальной длины и иметь наименьшее число пересечений;
- размеры и форма панелей мнемосхем должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

Исходя из упомянутых выше принципов, была разработана мнемосхема теплового узла. Разработанная мнемосхема представлена на рисунке 5.1.

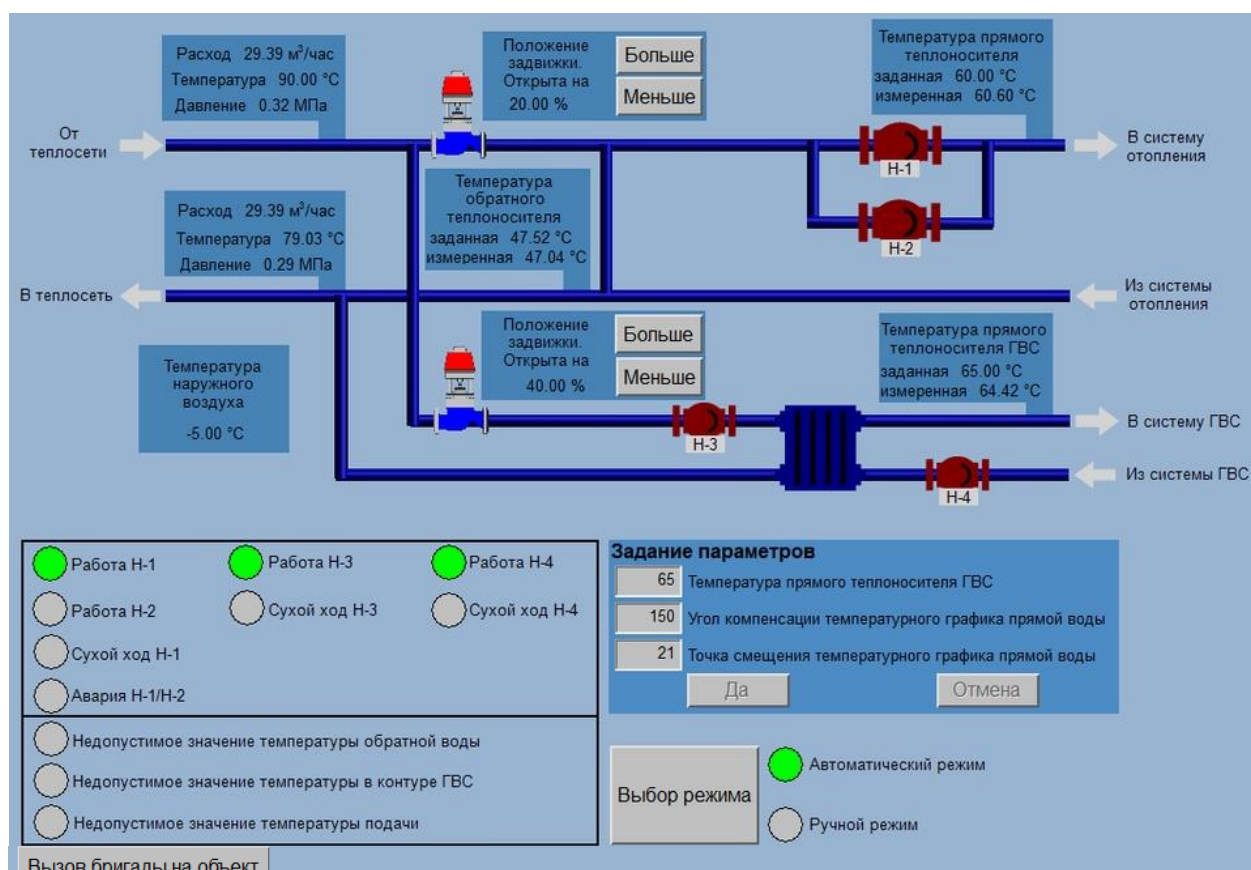


Рисунок 5.1 – Главное окно мнемосхемы

Как видно из рисунка 5.1, на мнемосхеме отображаются параметры теплоносителя в разных точках теплового пункта: расход, температура,

давление на входе в тепловой пункт и на его выходе; температура теплоносителя перед системой отопления и на выходе из нее; температура теплоносителя в контуре ГВС. Также на мнемосхеме можно увидеть температуру наружного воздуха, положение задвижек в контуре отопления и в контуре ГВС.

На мнемосхеме оператор имеет возможность переключать режимы управления (ручной или автоматический). Для удобства рядом с кнопкой переключения режимов находятся два индикатора, показывающие какой из режимов выбран (индикатор, соответствующий выбранному режиму, отображается зеленым цветом). Рядом с задвижками изображены кнопки «Больше» и «Меньше», которые позволяют открывать/закрывать задвижку.

Отдельно организована система оповещения о работе насосов. В системе присутствует четыре насоса. При нормальной работе насоса на панели диспетчера отображается лампа зеленого цвета рядом с соответствующей надписью. При сбое в работе насоса, он отключается, и лампа загорается серым цветом. В системе предусмотрена защита насосов от «сухого хода». Если значение давления перед определенным насосом повышается до некоторого значения, то срабатывает защита, которая отключает насос и загорается лампа «Сухой ход...». Также в двух циркуляционных насосах (Н-1 и Н-2) установлено тепловое реле. При превышении температуры в насосе определенного значения отключается соответствующий насос и загорается красным цветом лампа «Авария Н-1/Н-2».

Также отдельно организована система оповещения о превышении значений температуры в контурах отопления и ГВС. При превышении лампа загорается красным цветом рядом с соответствующей надписью.

В отдельном блоке «Задание параметров» оператор может задавать значения следующих параметров: температуру прямого теплоносителя ГВС, угол компенсации температурного графика прямой воды, точку смещения температурного графика прямой воды. При наведении курсора мыши на

данный блок появляется подсказка, в которой даны указания по заданию значений данных параметров. Также в этом блоке оператор может задавать значения в определенном диапазоне. Данный блок автоматически не позволяет оператору задавать значения, которые не попадают в данный диапазон.

Кнопка «Вызов бригады на объект» позволяет оператору направить соответствующее сообщение бригаде в случае какой-либо из аварии, о которых говорилось выше.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Плешко Андрею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад инженера составляет 23603 руб., научного руководителя – 33664 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30% от фонда оплаты труда (ФОТ)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Смета затрат на оборудование 4. Формирование бюджета затрат

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Ганта
--------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Доцент к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Плешко Андрей Олегович		

В данной выпускной квалификационной работе разработан проект автоматизированной системы управления тепловым пунктом с возможностью его дистанционного управления. Проектирование и установка такой системы управления тепловым пунктом офисного здания, находящегося на улице Марины Цветаевой 11 в микрорайоне Северный парк г. Томска, позволит повысить экономичность, надежность и качество управления теплоснабжением за счет: автоматизации и соответствующего повышения эффективности управления технологическим оборудованием; сокращения эксплуатационных издержек; работы технологического оборудования без эксплуатационного персонала.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления тепловым пунктом. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- спланировать затраты на проектирование системы;
- установить капитальные затраты на создание проекта системы управления;
- вычислить разовые капитальные вложения на приобретение технических средств автоматизации, монтаж и их наладку;
- определить экономический эффект от внедрения данной системы.

#### 6.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения работ формируется группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной работы приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Наименование работы	Исполнители работы
Выдача и получение задания	Руководитель, инженер
Составление календарного плана-графика работы	Руководитель, инженер
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Системный анализ проектных решений на базе современных разработок систем измерения и управления	Инженер
Проведение теоретических обоснований разрабатываемой системы	Инженер
Разработка схмотехнической документации	Инженер
Выбор технических средств автоматизированной системы управления	Инженер
Проектирование мнемосхемы	Инженер
Составление пояснительной записки	Инженер
Проверка пояснительной записки	Руководитель, инженер

Из таблицы 6.1 видно, что основная нагрузка приходится на должность инженера.

## 6.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая (средняя) трудоемкость выполнения работ определяется по формуле [48]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}i} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5}, \quad (6.1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – наиболее вероятное время в течение, которого должна быть выполнена работа, чел-дни;

$t_{\min i}$  – минимальное время для выполнения данного этапа при благоприятном стечении обстоятельств, чел-дни;

$t_{\max i}$  – максимальное время для выполнения данного этапа при неблагоприятном стечении обстоятельств, чел-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях [48]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (6.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дней;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 6.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой [48]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле [48]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Определим коэффициент календарности на 2020 год по формуле 6.4:



$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,476.$$

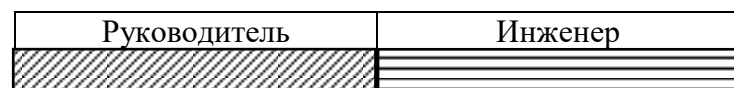
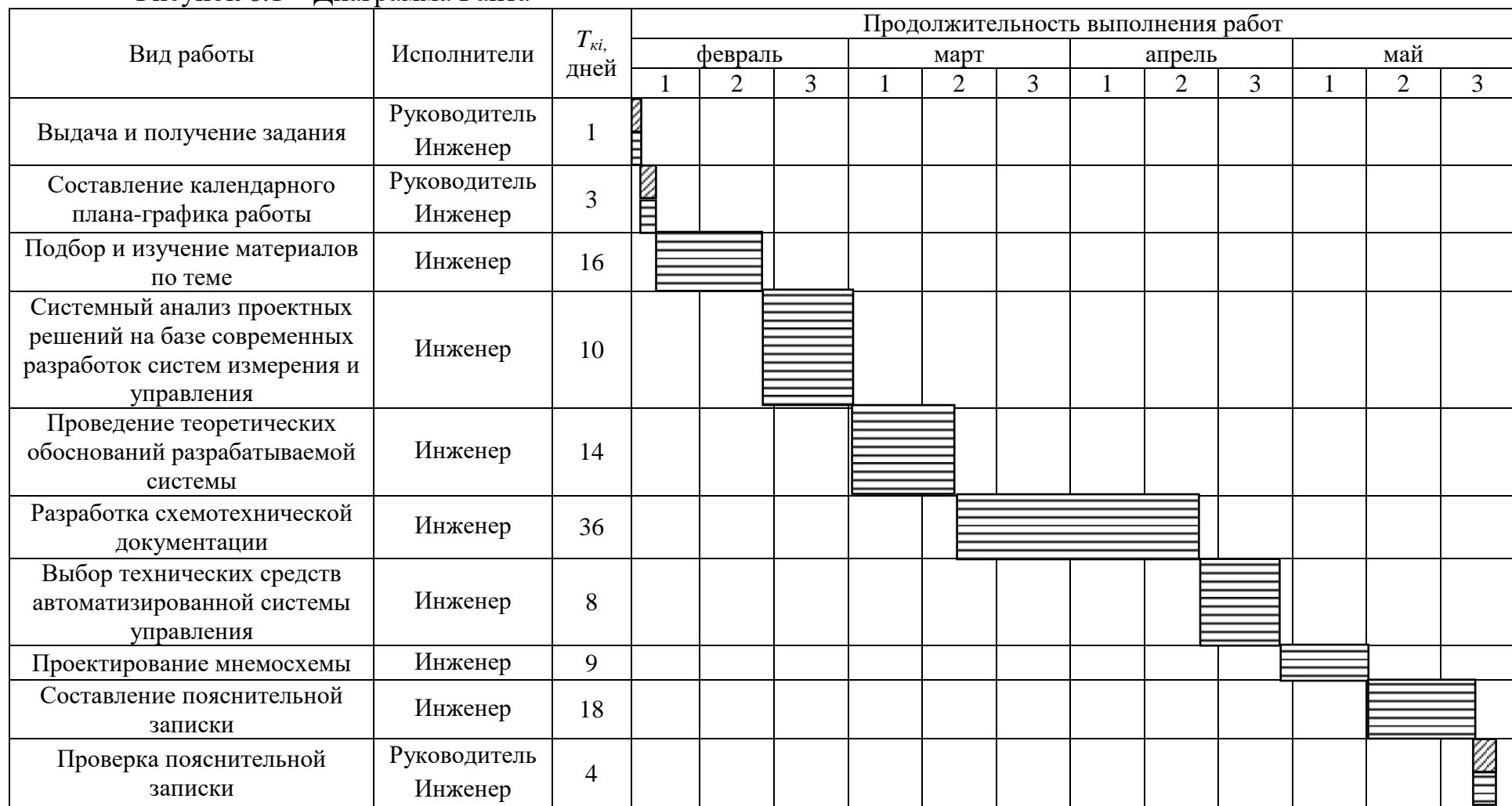
Внесем в таблицу 6.2 рассчитанные временные показатели проведения работы.

Таблица 6.2 – Временные показатели проведения работы

Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел-дни			Длительность работ, дни	
		t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>ож</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>k</sub>
Выдача и получение задания	Руководитель Инженер	1	2	1,4	0,7	1
Составление календарного плана-графика работы	Руководитель Инженер	3	5	3,8	1,9	3
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9	14	11	11	16
Системный анализ проектных решений на базе современных разработок систем измерения и управления	Инженер	6	8	6,8	6,8	10
Проведение теоретических обоснований разрабатываемой системы	Инженер	8	12	9,6	9,6	14
Разработка схмотехнической документации	Инженер	21	30	24,6	24,6	36
Выбор технических средств автоматизированной системы управления	Инженер	4	7	5,2	5,2	8
Проектирование мнемосхемы	Инженер	5	8	6,2	6,2	9
Составление пояснительной записки	Инженер	10	15	12	12	18
Проверка пояснительной записки	Руководитель Инженер	4	7	5,2	2,6	4

На основе таблицы 6.2 для более наглядного представления продолжительности и последовательности работ была разработана диаграмма Ганта (рисунок 6.1).

Рисунок 6.1 – Диаграмма Ганта



## 6.4 Смета затрат на проектирование

Капитальные затраты на проект включают в себя следующие виды затрат: материальные, амортизационные отчисления, социальные отчисления, накладные и прочие затраты, необходимые для проведения работ по теме, а также затраты на заработную плату научного руководителя и инженера.

Смета затрат на проект рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{проект}} = З_{\text{мат}} + З_{\text{амор}} + З_{\text{зп}} + З_{\text{со}} + З_{\text{накл}}, \quad (6.5)$$

где  $З_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$З_{\text{амор}}$  – амортизация компьютерной техники;

$З_{\text{зп}}$  – затраты на заработную плату;

$З_{\text{со}}$  – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

$З_{\text{накл}}$  – накладные расходы.

Далее выполним расчет каждого показателя отдельно.

### 6.4.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на материалы, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ. Примем материальные затраты в размере 1400 рублей на канцелярские товары.

$$З_{\text{мат}} = 1400 \text{ руб.}$$

### 6.4.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация – постепенное изнашивание основных средств и перенесение их стоимости на выпускаемую продукцию по мере их физического и морального износа. При разработке системы управления

используется компьютерная техника, которая имеет свой срок службы, следовательно необходимо учитывать затраты на ее износ.

Пусть первоначальная стоимость компьютера 35000 рублей, срок полезного использования составляет 4 года, компьютер используется для написания ВКР в течение 4 месяцев. Рассчитаем сумму амортизации.

Норму амортизации определим по следующей формуле:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100 = \frac{1}{4} \cdot 100 = 25 \%. \quad (6.6)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 35000 \cdot 0,25 = 8750 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{8750}{12} = 729 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$З_{амор} = 729 \cdot 4 = 2916 \text{ руб.} \quad (6.9)$$

Как видно из расчетов, итоговая сумма амортизации составила 2916 рублей.

#### 6.4.3 Затраты на заработную плату

В данную статью входит основная заработная плата руководителя и инженера, непосредственно участвующих в выполнении работ по проектированию автоматизированной системы управления. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Оклад научного руководителя составляет 33664 рубля, оклад инженера – 23603 рубля.

Затраты на заработную плату рассчитываются по формуле [48]:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6.10)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата определяется по формуле [48]:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_p, \quad (6.11)$$

где  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$K_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$K_p$  – районный коэффициент (равен 1,3 для г. Томска);

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни.

Среднедневная заработная плата [48]:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (6.12)$$

где  $З_{\text{м}}$  – оклад работника за месяц, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M=11,2$  месяца, пятидневная рабочая неделя и при отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$  месяца, шестидневная рабочая неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Далее в таблице 6.3 представлен баланс рабочего времени для 6-дневной рабочей недели.

Таблица 6.3 – Баланс рабочего времени (для шестидневной рабочей недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	366
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	234

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и научного руководителя по формуле 6.12, данные внесем в таблицу 6.4:

$$З_{\text{дн.ин}} = \frac{23603 \cdot 10,4}{234} = 1049,02 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн.пр}} = \frac{33664 \cdot 10,4}{234} = 1496,18 \text{ руб.}$$

Таблица 6.4 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>дн</sub> , руб.	К <sub>пр</sub>	К <sub>д</sub>	К <sub>р</sub>	Т <sub>р</sub>	З <sub>осн</sub>
Инженер	1049,02	0,05	0,05	1,30	111,00	166510,94
Руководитель	1496,18	0,05	0,05	1,30	8,00	17116,30
Итого						183627,24

Дополнительная заработная плата исполнителей определяется по формуле [48]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (6.13)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным от 0,12 до 0,15).

Результаты расчетов дополнительной заработной платы внесем в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	З <sub>доп</sub> , руб.
Руководитель	2053,96
Инженер	19981,31
Итого	22035,27

#### 6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [48]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (6.14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и

пр.), равный 30 %.

Таблица 6.6 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	З <sub>внеб</sub> , руб.
Руководитель	5751,08
Инженер	55947,68
Итого	61698,76

#### 6.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [48]:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{амор}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}), \quad (6.15)$$
$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (1400 + 2916 + 183627,24 + 22035,27 + 61698,76) =$$
$$= 43468,36 \text{ руб.}$$

Из расчетов видно, что накладные расходы составили 43468,36 рублей.

#### 6.5 Смета затрат на оборудование

Смета данного раздела составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительно-монтажные работы по ремонту, капитальному ремонту зданий и оборудования, на реконструкцию и строительство новых объектов, благоустройство дворовых территорий. В таблице 6.7 представлена смета затрат на оборудование теплового пункта и АРМ оператора.



Таблица 6.7 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Датчик температуры наружного воздуха AGS54	1	2130,00	2130,00
Датчик температуры накладной AF25	4	1743,53	6974,12
Термопреобразователи сопротивления КТС-Б	1	2338,00	2338,00
Термометр ТТЖ-М	13	103,00	1339,00
Реле давления КРІ35	3	3524,00	10572,00
Датчик избыточного давления ПДТВХ-1-02	2	3500,00	7000,00
Манометр МПЗ-У	28	370,00	10360,00
Расходомер «Питерфлоу РС»	2	36960,00	73920,00
Оборудование АРМ оператора	-	-	66496,00
Итого			181129,12

Капитальные вложения в монтаж рассчитываются как 20 % от вложений в оборудование:

$$З_{\text{монт}} = 0,2 \cdot З_{\text{об}}, \quad (6.16)$$

$$З_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 181129,12 = 36225,82 \text{ руб.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

$$З_{\text{м.об.}} = З_{\text{об}} + З_{\text{монт}}, \quad (6.17)$$

$$З_{\text{м.об.}} = 181129,12 + 36225,82 = 217354,94 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования теплового узла составили 217354,94 рублей.

## 6.6 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании

договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	1400,00	0,26
Затраты на амортизацию	2916,00	0,55
Затраты на основную заработную плату	183627,24	34,48
Затраты на дополнительную заработную плату	22035,27	4,14
Страховые взносы	61698,76	11,59
Накладные расходы	43468,36	8,16
Затраты на специальное оборудование	217354,94	40,82
Общий бюджет	532500,57	100

Из таблицы 6.8 видно, что наибольший процент затрат приходится на специальное оборудование, заработную плату и составляет 40,82 % и 34,48 % соответственно.

## 6.7 Выводы по разделу

Таким образом, в данном разделе было осуществлено распределение обязанностей по видам работ и рассчитан временной промежуток, необходимый для ее выполнения. Общая продолжительность работ составила 119 дней. Был сформирован бюджет затрат, который составил 532500,57 рублей. В результате расчетов было выяснено, что на специальное оборудование приходится наибольший процент затрат, равный 40,82 % (217354,94 рублей).

Эффективность автоматизированной системы управления тепловым пунктом зависит от сравнения результатов функционирования системы и затрат всех видов ресурсов, необходимых для ее создание и развития.

Благодаря современному оборудованию, установленному на объекте, увеличится срок его службы, повысится надежность системы управления.

Дистанционное управление тепловым пунктом позволит: снизить непроизводственные расходы из-за «недоучета» и сверхнормативного потребления энергоресурсов за счет их автоматизированного коммерческого/технического учета; снизить производственные издержки вследствие:

- экономии теплоресурсов за счет оптимизации процесса теплоснабжения, в том числе за счет ведения коррекции отпускаемой тепловой энергии по температуре наружного воздуха;
- снижения количества аварийных ситуаций, продолжительности вынужденных простоев оборудования и затрат на его ремонт за счет устранения «человеческого фактора»;
- снижения затрат на сервисное обслуживание системы в целом благодаря унификации решения, использованию однотипных аппаратных и программных средств;
- оптимизации загрузки оборудования и процесса планирования ремонтов вследствие наличия в системе информации по наработке оборудования;
- прямой экономии денежных средств за счет возможности работы теплового пункта без эксплуатационного персонала.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Плешко Андрею Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ ТП теплового пункта офисного здания	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	ВКР направлена на разработку системы диспетчеризации и дистанционного управления тепловым пунктом объекта, получающего тепловую энергию от котельной, функционирующей на перспективном газообразном топливе.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	В работе отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Были использованы такие законодательные и нормативные документы, как: СНиП, ГОСТ, СанПин.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: повышенный уровень шума, вибрации, недостаточная освещенность, отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень электромагнитных полей. Опасные факторы: поражение электрическим током.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие отходов (оборудование, ПЭВМ и т.д.)
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее типичной ЧС является пожар. В работе указаны организационные мероприятия по предупреждению и оповещению о случившемся ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова Ольга Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Плешко Андрей Олегович		

## 7 Социальная ответственность

В рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы ведется разработка автоматизированной системы управления тепловым пунктом офисного здания, а так же создание для него системы диспетчеризации и дистанционного управления. Индивидуальный тепловой пункт находится на улице Марины Цветаевой 11 в микрорайоне Северный парк г. Томска. Данное здание представляет собой четырехэтажную постройку, с общей площадью 15559,4 м<sup>2</sup>. Для его отопления и снабжения водой в подземном этаже предусмотрен тепловой пункт.

В задачи индивидуального теплового пункта входит преобразование теплоносителя и регулирование его параметров, рациональное распределение теплоносителя, защита систем потребления тепловой энергии от опасного превышения параметров (давления, температуры) теплоносителя, учет расхода тепла и самого теплоносителя.

Современный тепловой пункт является довольно сложной системой, нуждающейся в централизованном управлении. Идеальным вариантом для этого считается диспетчеризация. Она помогает управлять большим количеством механизмов, устройств, дает возможность предупредить аварийные ситуации, которые могут привести к неблагоприятным последствиям для человека и окружающей среды. При обнаружении сбоев, прочих недопустимых для работы факторов происходит подача различного рода сигналов. Диспетчер может остановить комплекс дистанционно в короткий промежуток времени в целях безопасности. Таким образом, он продлевает срок эксплуатации оборудования, сокращает количество аварийных ситуаций, риски форс-мажоров.

## 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с [49] к нормативно-правовым актам, содержащим государственные нормативные требования охраны труда, относятся:

- стандарты безопасности труда;
- правила и типовые инструкции по охране труда;
- государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (санитарные правила и нормы, санитарные нормы, санитарные правила, гигиенические нормативы, устанавливающие требования к факторам производственной среды и трудового процесса).

Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004-2015 [50].

### 7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В организации на работодателя возлагаются обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда. Согласно документу [51] рассмотрим некоторые важные понятия:

- условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника;
- охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия;
- вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию;
- опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме;

- рабочее место – место, в котором работник должен находиться или в которое ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя;
- средства индивидуальной и коллективной защиты работников – технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных или опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

#### 7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место оператора должно быть организовано с учетом требований, указанных в [52] и [53].

Вся мебель рабочего пространства (кресло оператора, рабочий стол и т.п.) должны быть обеспечены возможностью индивидуальной регулировки для того, чтобы создать удобную для работы позу. Также должно быть обеспечено свободное расстояние вокруг ПК не менее 0,6 м. Помещения, где используется компьютерная аппаратура, должны иметь как искусственное, так и естественное освещение.

Согласно [54] при размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;

- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

## 7.2 Производственная безопасность

### 7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

На все аварийные ситуации в индивидуальном тепловом пункте необходимо оперативно реагировать. Необходимо точно знать, какие действия выполнять и в какой последовательности, для этого персонал должен знать технику безопасности и различные инструкции. Аварии в ИТП, которые связаны с утечкой теплоносителя, могут представлять угрозу для здоровья и жизни людей, которые прибывают на их ликвидацию.

Существует две основные категории неисправностей: неисправности трубопроводов теплосети и неисправности трубопроводов теплопотребления.

Персоналу, прибывшему на место аварии, в первую очередь следует оценить обстановку, её возможные последствия и сделать всё возможное для избегания контакта с теплоносителем, поскольку есть вероятность получения сильного ожога. Только после того, как температура теплоносителя в трубопроводах достигнет 40 °С можно приступать к работам по устранению повреждений. При попадании теплоносителя на электрооборудование необходимо незамедлительно покинуть помещение, так как это может привести к поражению электрическим током. Персоналу, находящемуся в диспетчерской, следует незамедлительно отключить электроснабжение ИТП. О случившемся в обязательном порядке необходимо сообщить всем ответственным лицам, в первую очередь – главному инженеру и управляющему объектом.



## 7.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте

В данном пункте приведены основные элементы производственного процесса, создающего опасные и вредные факторы при выполнении работ на рабочем месте согласно [55]. Данные представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Повышенный уровень вибрации		СН 2.2.4/2.1.8.566-96
Повышенный уровень шума		СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Недостаточная освещенность		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
Отклонение показателей микроклимата		СанПиН 2.2.4.548-96
	Повышенное значение напряжения в электрической цепи	ГОСТ 12.1.038-82
Повышенный уровень электромагнитных излучений		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

### 7.2.2.1 Повышенный уровень вибрации

Согласно [56] по способу передачи вибрации на человека различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

На рабочем месте оператора допустимые значения вибрации представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Допустимые значения вибрации в административно-управленческих помещениях и в помещениях общественных зданий

Допустимые значения по осям $X_0$ , $Y_0$ , $Z_0$				
Среднегеометрические частоты полос, Гц	виброускорения		виброскорости	
	$\text{м/с}^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	$\text{м/с} \cdot 10^{-3}$	дБ
2	10,0	80	0,79	84
4	11,0	81	0,45	79
8	14,0	83	0,28	75
16	28,0	89	0,28	75
31,5	56,0	95	0,28	75
63	110,0	101	0,28	75
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	10	80	0,28	75

Способы борьбы с вибрацией:

- снижение вибрации в источнике;
- виброгашение;
- виброизоляция;
- вибродемпфирование;
- применение индивидуальных средств защиты.

#### 7.2.2.2 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума в тепловом пункте возможен за счет наличия в помещении большого количества различного производственного оборудования. Известно, что данный фактор непосредственно ухудшает условия труда, оказывая на организм вредное воздействие. При длительном воздействии на организм, осуществляется воздействие на центральную и

вегетативную нервную систему человека, органы слуха, повышается кровяное давление, способствующее возникновению сердечно-сосудистых заболеваний.

Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах регламентирован документом [57]. В таблице 7.3 указаны предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА.

Таблица 7.3 – Предельные уровни звука на рабочих местах в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд первой степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд второй степени	50	50	-	-	-

Уменьшение влияния данного фактора на организм работающего персонала возможно следующими методами:

- ослабление шума непосредственно в источниках;
- шумоизоляция и шумопоглощение;
- создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок в помещении операторской;

- использование средств индивидуальной защиты.

#### 7.2.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Оценка освещенности рабочей области необходима для обеспечения нормативных условий работы на рабочем месте и проводится согласно с [58].

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение. Оно подразделяется на следующие типы: боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). Искусственное освещение подразделяется на рабочее и аварийное, а также на общее и комбинированное.

Помещения, где используется компьютерная аппаратура (рабочее место оператора), должны иметь искусственное и естественное освещение. Освещенность в зоне размещения рабочего документа должна быть 300...500 Лк. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более чем на 300 Лк. Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ).

Основные требования к рабочему освещению:

- достаточная освещенность на рабочем месте;
- бесперебойность и продолжительность работы установки в заданных условиях окружающей среды;
- пожарная и электрическая безопасность устройств освещения;
- экономичность устройств освещения.

#### 7.2.2.4 Отклонение параметров микроклимата

В помещениях, в которых работа на ПЭВМ является основной, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата. Согласно [59] показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час. Для данного вида работ оптимальные показатели микроклимата должны соответствовать таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140...174)	21...23	20...24	60...40	0,1
Теплый	Iб (140...174)	22...24	21...25	60...40	0,1

Для поддержания соответствующих параметров на рабочем месте функционируют системы вентиляции, отопления и кондиционирования.

#### 7.2.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

При работе с оборудованием на автоматизированном рабочем месте оператора существует вероятность поражения электрически током. К работе

на компьютере и периферийном оборудовании допускаются лица, изучившие инструкцию по охране труда, прошедшие инструктаж.

Электропитание устройств осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В и частоты колебаний 50 Гц. Компьютер и другое оборудование должно быть заземлено согласно [60]. Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по документу [61].

#### 7.2.2.6 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При выполнении работ с ПЭВМ проводится оценка уровня электромагнитных излучений. Источником электромагнитного поля промышленной частоты являются чаще всего части действующих электроустановок, которые проводят электрический ток. В соответствии с [62] нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения человека в данной зоне. Работа в зоне с электрическим полем с напряженностью от 20 до 25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности менее 5 кВ/м нахождение людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов.

Допустимые уровни электромагнитных полей при работе с ПЭВМ указаны в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		Временные допустимые уровни электромагнитных полей
Напряженность электрического поля	диапазон частот 5...2 кГц	25 В/м
	диапазон частот 2...400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	диапазон частот 5...2000 Гц	250 нТл
	диапазон частот 2...400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

### 7.3 Экологическая безопасность

В данной работе вред экологии может нанести неправильная утилизация используемого оборудования теплового пункта (насосы, датчики, электропроводки и т.д.) и автоматизированного рабочего места оператора (ПЭВМ, лампы).

Некоторые компоненты ПЭВМ, можно использовать повторно, а остальные либо оставлять на переработку и дальнейшее использование, либо подвергать захоронению на полигонах. Также возможна переработка оборудования теплового узла. Полигоны создают в соответствии с требованиями, установленными в документе [63]. Они должны находиться вдали от водоохраных зон и обладать санитарно-защитными зонами. В местах складирования производится гидролизация для предотвращения загрязнения грунтовых вод. Перед захоронением прессуемые отходы желательно спрессовать, а отходы с высокой степенью влажности обезводить.

## 7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На тепловом пункте, а также на рабочем месте оператора наиболее вероятной ЧС является пожар. При эксплуатации необходимо контролировать состояние оборудования путем внешнего осмотра. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Согласно [64] в зависимости от количества, а так же характеристик обращающихся в производстве веществ, по пожарной и взрывной опасности производят разделения на следующие категории: А, Б, В, Г, Д. Помещения с ЭВМ и ПЭВМ, и помещения теплового узла относятся к категории В (пожароопасные).

Помещения с ПЭВМ должны оснащаться аптечкой первой помощи и углекислотными огнетушителями. Количество и состав огнетушителей выбирают согласно [65] в зависимости от площади защищаемого помещения и класса пожара. При наличии нескольких помещений одного класса (с небольшой площадью каждого из них) количество средств тушения выбирают с учетом суммарной площади этих помещений.

На тепловом пункте, в случае срабатывания пожарной сигнализации, необходимо немедленно вызвать пожарную бригаду, после чего незамедлительно принять меры к тушению возгорания.

Каждый работник, заметивший возгорание, задымление и другие явления, могущие привести к пожару, обязан:

- немедленно вызвать пожарную часть;
- сообщить о пожаре руководству;
- принять меры к ограничению распространения огня первичными средствами пожаротушения.

Одним из важнейших аспектов пожарной безопасности, помимо наличия специальной сигнализации и специально предусмотренного оборудования является:



- прохождение каждым сотрудником инструктажа по обеспечению пожарной безопасности, наличие навыков и знание последовательности действий в случае возникновения пожара;
- каждый член обслуживающего персонала должен быть проинформирован о местонахождении средств пожаротушения, а так же средств связи;
- наличие на стенах помещений планов эвакуации (с обязательным отображением путей аварийной эвакуации).

## 7.5 Выводы по разделу

Тема ВКР «АСУ ТП теплового пункта офисного здания» подразумевает выбор оборудования и технических средств автоматизации с последующим монтажом на тепловой узел. Выбранный комплект автоматизации, а также дистанционное управление позволят улучшить контроль над технологическим процессом, тем самым намного сократится риск аварийной ситуации.

Можно выделить следующие основные результаты по проделанной работе над разделом:

- отображены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности персонала;
- приведено описание вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на объекте и рабочем месте;
- предложены методы по снижению оценки воздействия представленных факторов;
- определено воздействие объекта на окружающую среду;
- рассмотрена наиболее вероятная ЧС, предложены меры по ее предотвращению.

## Заключение

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система управления тепловым пунктом, который находится по адресу ул. Марины Цветаевой, микрорайон Северный парк, г. Томск. В ходе написания ВКР выполнено:

- экспериментальные исследования по зажиганию гелеобразных топлив;
- анализ объекта автоматизации;
- разработан комплект проектной и технической документации: структурная схема, функциональная схема, заказная спецификация приборов и средств автоматизации, схема монтажная, схемы электрические соединений щита автоматизации и щита управления, перечни элементов, общие виды щита автоматизации и щита управления;
- расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора;
- проектирование мнемосхемы для удаленного мониторинга и управления тепловым пунктом.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проанализированы и рассчитаны затраты на реализацию проекта.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на рабочий персонал и окружающую среду. Разработаны мероприятия, направленные на устранение и снижение воздействия негативных факторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Medvedeva, E.A., Zhenikhov, Y.N., Urvantsev, I.V., Tsyba, V.E. Prospects for using peat and products of its processing in municipal power engineering in rural and remote areas // *Thermal Engineering*. – 2017. – Т. 64(6). – С. 408-414.
- 2 Martínez-Guido, S.I., Ríos-Badrán, I.M., Gutiérrez-Antonio, C., Ponce-Ortega, J.M. Strategic planning for the use of waste biomass pellets in Mexican power plants // *Renewable Energy*. – 2019. – Т. 130. – С. 622-632.
- 3 Urbancl, D., Zlak, J., Anicic, B., Trop, P., Goricanec, D. The evaluation of heat production using municipal biomass co-incineration within a thermal power plant // *Energy*. – 2016. – Т. 108. – С. 140-147.
- 4 Indrawan, N., Thapa, S., Bhoi, P.R., Huhnke, R.L., Kumar, A. Electricity power generation from co-gasification of municipal solid wastes and biomass: Generation and emission performance // *Energy*. – Т. 162. – С. 764-775.
- 5 Martinho, V.J.P.D. A transversal perspective on global energy production and consumption: An approach based on convergence theory // *Energy and Environment*. – 2018. – Т. 29(4). – С. 556-575.
- 6 Wang, Y., Lou, S., Wu, Y., Miao, M., Wang, S. Operation strategy of a hybrid solar and biomass power plant in the electricity markets // *Electric Power Systems Research*. – 2019. – Т. 167. – С. 183-191.
- 7 Tabakaev, R.B., Kazakov, A.V., Zavorin, A.S. Thermal pretreatment of low-grade solid fuel // *Solid Fuel Chemistry*. – 2015. – Т. 49(5). – С. 267-273.
- 8 Tabakaev, R.B., Kazakov, A.V. Assessment of thermal energy use in technique of producing solid composite fuels from low-grade raw materials. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University // *Geo Assets Engineering*. – 2016. – Т. 327(7). – С. 110-117.
- 9 Glushkov, D.O., Kuznetsov, G.V., Strizhak, P.A. Simultaneous ignition of several droplets of coal–water slurry containing petrochemicals in oxidizer flow // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – Т. 152. – С. 22-33.

- 10 Glushkov, D.O., Strizhak, P.A. Ignition of composite liquid fuel droplets based on coal and oil processing waste by heated air flow // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Т. 165. – С. 1445-1461.
- 11 Heschel, W., Rweyemamu, L., Scheibner, T., Meyer, B. Abatement of emissions in small-scale combustors through utilisation of blended pellet fuels // *Fuel Processing Technology*. – 1999. – Т. 61(3). – С. 223-242.
- 12 Chiew, Y.L., Shimada, S. Current state and environmental impact assessment for utilizing oil palm empty fruit bunches for fuel, fiber and fertilizer – A case study of Malaysia // *Biomass and Bioenergy*. – 2013. – Т. 51. – С. 109-124.
- 13 *International Journal of Heat and Mass Transfer*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://authors.elsevier.com/a/1b4S344ха2Y>-О свободный. – Загл. с экрана.
- 14 K.Y. Vershinina, D.O. Glushkov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina, Oil-filled cryogels: New approach for storage and utilization of liquid combustible wastes // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2019. – Т. 58(16). – С. 6830-6840.
- 15 D. Yang, Z. Xia, L. Huang, L. Ma, Y. Feng, Y. Xiao, Experimental study on the evaporation characteristics of the kerosene gel droplet // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Т. 93. – С. 171-177.
- 16 P.K. Ojha, P. Prabhudeva, S. Karmakar, D. Maurya, G. Sivaramakrishna. Combustion characteristics of JP-10 droplet loaded with Sub-micron boron particles // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2019. – С. 109.
- 17 I. Javed, S.W. Baek, K. Waheed, Effects of dense concentrations of aluminum nanoparticles on the evaporation behavior of kerosene droplet at elevated temperatures: The phenomenon of microexplosion, *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2014. – Т. 56. – С. 33-44.
- 18 D.O. Glushkov, J.C. Legros, P.A. Strizhak, A.V. Zakharevich, Experimental and numerical study of heat transfer and oxidation reaction during ignition of diesel fuel by a hot particle // *Fuel*. – 2016. – Т. 175. – С. 105-115.

- 19 L.K. Gusachenko, V.E. Zarko, A.D. Rychkov, Ignition and extinction of homogeneous energetic materials by a light pulse, Combust., Explosion // Shock Waves. – 2012. – Т. 48(1). – С. 73-80.
- 20 D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Stability of composite solid propellant ignition by a local source of limited energy capacity, Combust., Explosion // Shock Waves – 2014. – Т. 50(6). – С. 670-675.
- 21 СНиП 2.04.07-86 Тепловые сети. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 32 с.
- 22 СНиП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 91 с.
- 23 СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 21 с.
- 24 ГОСТ 2.785-70 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 13 с.
- 25 ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2013. – 27 с.
- 26 НПО «ВЭСТ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://npowest.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
- 27 Термотроник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://termotronic.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
- 28 Датчик температуры наружного воздуха AGS54. [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://sensormatica.ru/files/catalog/datchiki/thermokon/catalog\\_thermokon.pdf](https://sensormatica.ru/files/catalog/datchiki/thermokon/catalog_thermokon.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
- 29 Датчик температуры наружного воздуха ATF2. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://sensormatica.ru/files/catalog/datchiki/ss/katalog-ss-regeltechnik-sensormatica.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
- 30 Датчик температуры накладной AF25. [Электронный каталог]. – Режим доступа

- [https://sensormatica.ru/files/catalog/datchiki/thermokon/catalog\\_thermokon.pdf](https://sensormatica.ru/files/catalog/datchiki/thermokon/catalog_thermokon.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
- 31 Датчик температуры накладной TR50. [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://www.wika.ru/upload/BR\\_ProductPortfolio\\_ru\\_ru\\_31481.pdf](https://www.wika.ru/upload/BR_ProductPortfolio_ru_ru_31481.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
- 32 Термопреобразователи сопротивления КТС-Б. [Электронный каталог]. – Режим доступа [http://www.teplocom.msk.ru/catalog/termopreobrazovateli-i-datchiki-davleniya/termopreob/ktsb\\_tsb/](http://www.teplocom.msk.ru/catalog/termopreobrazovateli-i-datchiki-davleniya/termopreob/ktsb_tsb/) свободный. – Загл. с экрана.
- 33 Термопреобразователи сопротивления «ТЭСМА К». [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://tem.pro-solution.ru/?gclid=Cj0KCQjwhZr1BRCLARIsALjRVQN2EdGCsp2b3bPdWajSMpafkpHCxz18q2emGuBkuqJsGyS7-oL2lJoaAjP6EALw\\_wcB#catalog](https://tem.pro-solution.ru/?gclid=Cj0KCQjwhZr1BRCLARIsALjRVQN2EdGCsp2b3bPdWajSMpafkpHCxz18q2emGuBkuqJsGyS7-oL2lJoaAjP6EALw_wcB#catalog) свободный. – Загл. с экрана.
- 34 Термометр СП-2. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://www.thermopribor.com/?p=catalog> свободный. – Загл. с экрана.
- 35 Термометр ТТЖ-М. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://xn--90ahjlrccscjdm.xn--p1ai/produktsiya/> свободный. – Загл. с экрана.
- 36 Реле давления КПИ35. [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://www.k-avtomatika.ru/images/KPI-35\\_KPI-38\\_Danfoss\\_%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3\\_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA.pdf](https://www.k-avtomatika.ru/images/KPI-35_KPI-38_Danfoss_%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
- 37 Реле давления ДЕМ-102. [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://orlex.nt-rt.ru/#%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8\\_%D0%9E%D1%80%D0%BB%D1%8D%D0%BA%D1%81](https://orlex.nt-rt.ru/#%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%9E%D1%80%D0%BB%D1%8D%D0%BA%D1%81) свободный. – Загл. с экрана.
- 38 Датчик избыточного давления ПДТВХ-1-02. [Электронный каталог]. – Режим доступа [http://www.teplocom.msk.ru/catalog/termopreobrazovateli-i-datchiki-davleniya/termopreob/ktsb\\_tsb/](http://www.teplocom.msk.ru/catalog/termopreobrazovateli-i-datchiki-davleniya/termopreob/ktsb_tsb/) свободный. – Загл. с экрана.

- 39 Датчик избыточного давления А-10. [Электронный каталог]. – Режим доступа [https://www.wika.ru/upload/BR\\_ProductPortfolio\\_ru\\_ru\\_31481.pdf](https://www.wika.ru/upload/BR_ProductPortfolio_ru_ru_31481.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
- 40 Манометры МПЗ-У. [Электронный каталог]. – Режим доступа <http://www.manotom-tmz.ru/catalog/> свободный. – Загл. с экрана.
- 41 Манометры МП100М. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://jumas.ru/catalog/> свободный. – Загл. с экрана.
- 42 Расходомеры электромагнитного типа «Питерфлоу РС». [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://teplomer.ru/device/teplovychislitel-vkt-9> свободный. – Загл. с экрана.
- 43 Расходомеры электромагнитного типа Метран-370. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-370-ru-ru> свободный. – Загл. с экрана.
- 44 Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю., Добряков В.А. Разработка принципиальных электрических схем систем управления процессами пищевых производств: Метод. указания к практическим занятиям по курсовому проектированию. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. – 75 с.
- 45 ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2011. – 51 с.
- 46 Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: - Томск: Изд. ТПУ, 2000.–108с.
- 47 ГОСТ 21480-76 Система «человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
- 48 Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение // Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 49 Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. N 1160 «Об утверждении Положения о разработке, утверждении и изменении

- нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://base.garant.ru/55170266/> – Загл. с экрана.
- 50 ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 46 с.
- 51 Трудовой кодекс (ТК РФ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://base.garant.ru/12125268/> – Загл. с экрана.
- 52 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 11 с.
- 53 ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 4 с.
- 54 ГОСТ 22269-76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 3 с.
- 55 ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 23 с.
- 56 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 11 с.
- 57 СН 2.2.4/2.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 8 с.
- 58 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 56 с.
- 59 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 8 с.



- 60 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1). – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 46 с.
- 61 ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Изменением N 1). – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.
- 62 ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 56 с.
- 63 СП 127.13330.2017 Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 29 с.
- 64 НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 40 с.
- 65 Постановление от 25 апреля 2012 года N 390 «О противопожарном режиме» (с изменениями на 23 апреля 2020 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/902344800> – Загл. с экрана.